

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000270520 A**

(43) Date of publication of application: **29.09.00**

(51) Int. Cl. **H02K 11/00**  
**H02K 5/16**

(21) Application number: **11075198**

(22) Date of filing: **19.03.99**

(71) Applicant: **MATSUSHITA SEIKO CO LTD**

(72) Inventor: **OKUMURA YASUYUKI**  
**YOKOYAMA TAKANORI**  
**TOJO MASAYOSHI**  
**ASAI TAKAHIRO**

**(54) REDUCER OF BEARING CURRENT IN ROTATING MACHINE**

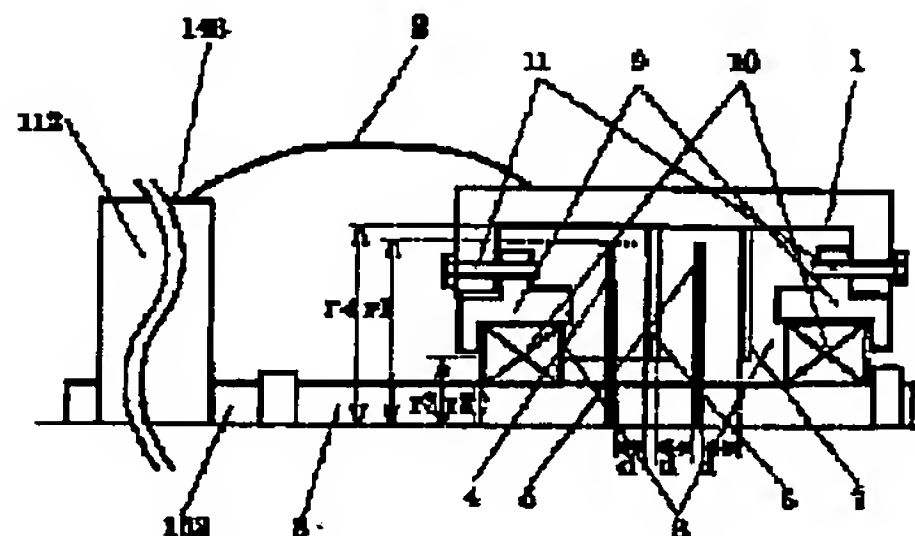
**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a reducer of a bearing current which needs no maintenance over a long-term usage for preventing abrasion of a bearing part, and damages or breaks of a rotating shaft by reducing a bearing current generated at a rotating machine.

**SOLUTION:** A metallic box of a rotating machine is joined to a frame 1 with a wire. A rotating metallic plate mounted at a rotating shaft 3 joined with a rotator axle of the rotating machine and a metallic plate mounted on the frame 1 are put close to each other in a noncontacted state to generate electrostatic capacity. Then by setting the air gap capacity between the stator of the rotating machine and the rotor to be sufficiently large, so axial voltage behavior with respect to an abrupt change in voltage fed from an inverter to the rotating machine can be dumped in a non-oscillation state. At the same time, a DC factor as a convergent value of the axial voltage is reduced, so that the axial voltage

just before discharge can be reduced, and a bearing direct current generated as a discharge phenomenon of the axial voltage can be reduced.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-270520

(P2000-270520A)

(43) 公開日 平成12年9月29日 (2000.9.29)

(51) Int. Cl.

識別記号

F I

7-73-1 (参考)

H 0 2 K 11/00

H 0 2 K 11/00

Q 5 H 6 0 5

5/16

5/16

A 5 H 6 1 1

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願平11-75198

(22) 出願日

平成11年3月19日 (1999.3.19)

(71) 出願人

000006242

松下精工株式会社

大阪府大阪市城東区今福西6丁目2番61号

(72) 発明者

奥村 康之

大阪府大阪市城東区今福西6丁目2番61号

松下精工株式会社内

(72) 発明者

横山 隆則

大阪府大阪市城東区今福西6丁目2番61号

松下精工株式会社内

(74) 代理人

100097445

弁理士 岩瀬 文雄 (外2名)

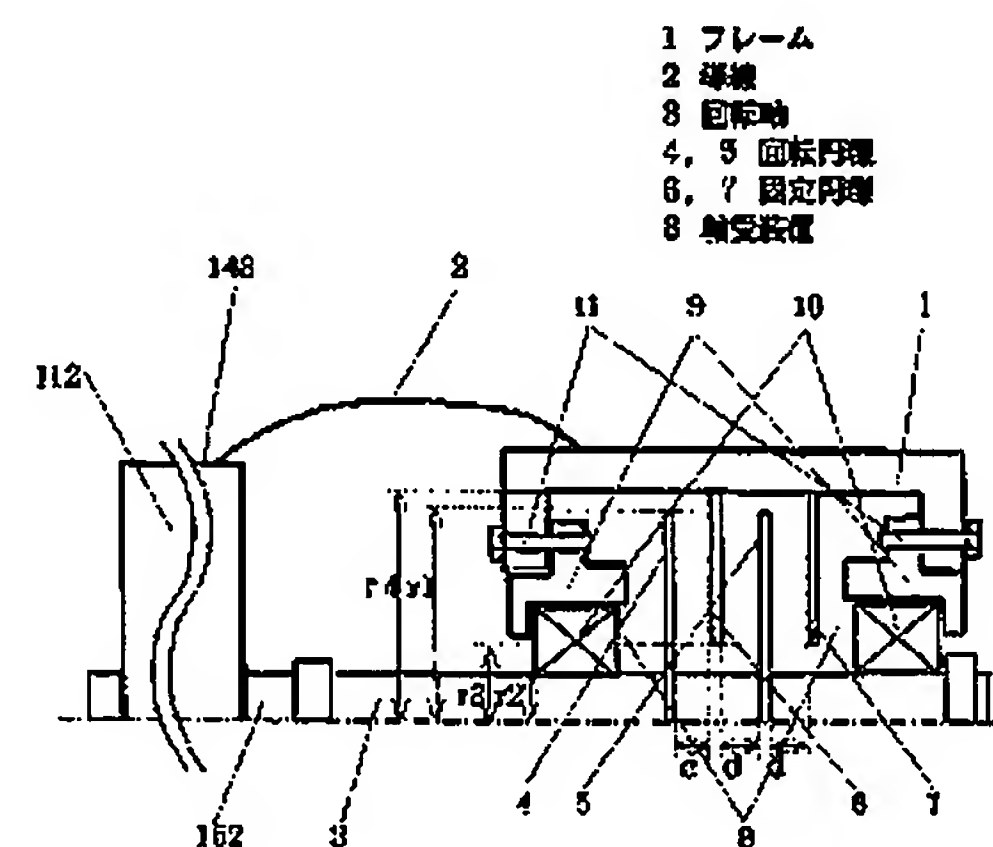
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転機のベアリング電流低減装置

(57) 【要約】

【課題】 回転機に発生するベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、破壊を防止し、かつ長時間使用しても保守する必要がないベアリング電流低減装置を提供する。

【解決手段】 回転機の金属筐体とフレームを導線で接続し、回転機の回転子軸に連結した回転軸に取付けた回転する金属板と、フレームに取り付けた金属板との間で静電容量を形成するように非接触で接近した位置に配置させて、回転機の固定子と回転子との間のエアギャップ容量を十分大きく設定すれば、インバータより回転機に供給される急峻な電圧変化に対する軸電圧変動を非振動でダンピングすることができ、さらに、軸電圧の収束値となる直流成分も減少するので、放電直前の軸電圧を抑圧して軸電圧の放電現象として発生するベアリング直流を低減することができる。



(2)

特開2000-270520

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、回転軸に対して垂直方向にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円板部分を切り取った1枚以上の固定円環とを備え、前記回転円環と前記固定円環とは、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置。

【請求項2】 回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、回転軸に対して同心円状にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円柱部分を切り取った1柱以上の固定中空円柱とを備え、前記回転円環と前記固定中空円柱は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置。

【請求項3】 回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、内輪部を回転軸に取付けた1個以上の軸受装置と、回転軸に対して垂直方向に前記軸受装置の外輪部に取り付けられ前記軸受装置の外輪部と同じ大きさの円板部分を切り取った前記軸受と同数の固定円環とを備え、前記固定円環は隣接する固定円環間に導線を介して接続し、固定円環の1つは導線を介してフレームに固定し、前記回転円環と前記固定円環は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置。

【請求項4】 回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った回転支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記回転支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の回転円筒と、回転軸に対して垂直方向にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円板部分を切り取った固定支持円環と、回転軸

に対して同心円状に前記固定支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の固定円筒を備え、前記固定円筒と前記回転円筒間は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転機の軸受部に流れるベアリング電流を低減する誘導機のベアリング電流低減装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、誘導機を始めとする回転機を回転数制御する方法としてインバータ等の電力変換機によって駆動するのが一般的となってきた。インバータ駆動方式として電圧形PWMインバータが最も良く知られている。この種のインバータ駆動方式では、変調正弦波信号の振幅に比例したパルス幅の一定キャリア周期を持つ矩形波状の電圧パルス列を誘導機に印加して、誘導機の固定子巻線に流れる電流を変調正弦波信号の周波数に等しい正弦波が流れるようにして誘導機を駆動する。

【0003】さて、最近の高速電力用半導体素子の発展に伴って、電圧形PWMインバータのキャリア周波数の高周波化が進み、インバータのスイッチング時に生じる急峻な電圧変化に起因して発生する誘導機のベアリング電流による軸受部の不具合が指摘されている。このベアリング電流には、例えば、「PWMインバータによって発生する誘導電動機のベアリング電流」(ショータン・チェン、アイイーイーイー・トランザクション・オン・エナジーコンバージョン、11号1巻ナンバー1、1996年3月)(Analysis of Induction Motor Bearing Currents Caused by PWM Inverters, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 1, March 1996)に紹介されているように、振幅が最も大きく頻繁に発生する放電モードのベアリング電流がある。この種のベアリング電流は、インバータから誘導機の巻線に供給される立ち上がりの急峻なコモンモード電圧が、誘導機の巻線と固定子間の結合容量、巻線と回転子間の結合容量および固定子と回転子間のエアギャップ容量によって構成される閉じた回路系に印加されたときに発生する応答電圧として、固定子と回転子間の静電容量に蓄積された軸電圧の放電現象として発生するものである。固定子と回転子間の静電容量に蓄積された軸電圧が、軸受部の油膜を絶縁破壊させて軸受部を導通状態にさせ、軸受部を介して静電容量に蓄積された軸電圧を放電させるとき流れる放電電流が放電モードのベアリング電流である。

【0004】図7は従来のPWMインバータに駆動された誘導機の原理的回路図を示し、図8は従来のPWMイ

(3)

特開2000-270520

3

ンバータに駆動された誘導機の各部の波形を説明する説明図である。図7、図8を併用して、PWMインバータが誘導機巻き線系にコモンモード電圧を供給するコモンモード電圧の発生メカニズムを説明する。

【0005】図7において、インバータ101はスイッチング素子102～107および直流電源108から成り、インバータ101のR相、S相およびT相出力端子109～111は誘導機112の固定子巻き線113のR相、S相およびT相タップ114～116にそれぞれ結線されている。誘導機112のフレームグランド端子117は、インバータ101のフレームグランド端子118に接続され、さらに、フレームグランド端子118は大地にアース接続されている。

【0006】図8の(a)、(b)、(c)はキャリア波信号 $V_c$ と各相のインバータ指令値 $U_R$ 、 $U_S$ 、 $U_T$ との比較により、インバータ101におけるON-OFF制御信号の形成を説明するものである。図8において、横軸を時間軸にとり、図8の(a)、(b)、(c)の太線で図示された正弦波がインバータ101のR、S、T各相のインバータ指令値( $U_R$ 、 $U_S$ 、 $U_T$ )を示す。同図上に三角波状の細線で示された波形がキャリア波信号 $V_c$ である。キャリア波信号 $V_c$ がインバータ指令値 $U_R$ 、 $U_S$ 、 $U_T$ よりも低いときは、該当するスイッチング素子102～104側が導通し、スイッチング素子105～107側が非導通となる。逆に、キャリア波信号 $V_c$ がインバータ指令値 $U_R$ 、 $U_S$ 、 $U_T$ よりも高いときは、該当するスイッチング素子102～104側が非導通となり、スイッチング素子105～107側が導通となる。

【0007】図8の(d)、(e)、(f)は図7に図示されるスイッチング素子のアーム対(102、105)、(103、106)、(104、107)の中間点と大地との間に形成される電圧 $V_R$ 、 $V_S$ 、 $V_T$ を示す。説明の簡略化のため図8の(a)、(d)でR相における関係について説明する。キャリア波電圧 $V_c$ がインバータ指令値 $U_R$ より高いときは、スイッチング素子105が導通しアーム対(102、105)と大地間の電圧 $V_R$ は零となる。尚、 $E_d$ は直流電源108の両端の電圧値である。次に、キャリア波電圧 $V_c$ がインバータ指令値 $U_R$ より低いときは、スイッチング素子102が導通しアーム対(102、105)と大地間の電圧 $V_R$ は $+E_d$ となる。

【0008】図8の(g)は巻き線113に印可されるコモンモード電圧の関係を示す。巻き線113の中性点119の大地を基準とする電位、すなわち、中性点電位 $V_{NO}$ は、通常、上述の電圧 $V_R$ 、 $V_S$ 、 $V_T$ の平均電圧(数1)となる。

【0009】

【数1】

$$V_{NO} = (V_R + V_S + V_T) / 3$$

【0010】ゆえに、中性点電位 $V_{NO}$ には、上述の電圧

4

$V_R$ 、 $V_S$ 、 $V_T$ 三相分を重ね合わせたコモンモードの電圧が発生している。すなわち、中性点電位 $V_{NO}$ にはPWMスイッチングパターン3相分を重ね合わせた波形が発生することになる。

【0011】図9は、従来のインバータ駆動された誘導機のコモンモード等価回路図である。図に示すように、誘導機112には、巻き線113と固定子120との間に結合容量121が存在し、また、巻き線113と回転子122との間にも結合容量123が存在している。さらに、固定子120と回転子122との間にはエアギャップ容量124が存在している。ここでは、誘導機が適当な回転数で回転して軸受装置125が流体潤滑モードとなっている場合について考える。この場合、軸受装置125は非導通状態となるが、巻き線113、結合容量121、結合容量123、および、エアギャップ容量124によって図示するような閉じた回路系126が構成される。インバータ101から巻き線113と固定子120との間にコモンモード電圧 $V_{CM}(t)$ が印可されると、閉じた回路系126を介してエアギャップ容量124の両端に軸電圧 $V_{ax}(t)$ が発生する。すなわち、インバータ101が供給するコモンモード電圧 $V_{CM}(t)$ に対する閉じた回路系126の応答電圧として軸電圧 $V_{ax}(t)$ が発生する。

【0012】図10は、従来のインバータ駆動された誘導機の簡略化コモンモード等価回路図である。図に示すように、巻き線113は、抵抗127とインダクタンス128の直列回路に置き換えられている。巻き線113と固定子120との間の結合容量121は結合容量129、130に、巻き線113と回転子122との間の結合容量123は結合容量131、132に簡略化されている。固定子120と回転子122との間のエアギャップ容量124は、前述した巻き線113の抵抗127とインダクタンス128と結合容量129～132とで閉じた回路系126を構成するように接続されている。コモンモード電圧 $V_{CM}(t)$ が結合容量129の両端に印可されると、閉じた回路系126を経てエアギャップ容量124の両端に軸電圧 $V_{ax}(t)$ が発生する。すなわち、インバータが供給するコモンモード電圧に対する閉じた回路系126の応答電圧として軸電圧が発生する。同図で図示するように、抵抗133、インダクタンス134、およびスイッチ135は、軸受装置125の等価回路を示すものである。誘導機112が停止または低速で回転しているとき、軸受装置125は境界潤滑状態となりスイッチ135は常に導通状態となり、エアギャップ容量124には軸電圧は発生しない。誘導機112が適当な回転数で回転しているとき、軸受装置125は流体潤滑となりスイッチ135は普段は非導通状態となるが、ときどき導通状態となる。ゆえに、軸受装置125が流体潤滑となる場合では、軸受装置125が非導通状態のとき、前述した理由からエアギャップ容量



(4)

特開2000-270520

5

5

124に軸電圧が蓄積されるが、ときどき、軸受装置125が導通状態となると、エアギャップ容量124に蓄積された軸電圧は、抵抗133、インダクタンス134およびスイッチ135を経て放電する。このとき、抵抗133、インダクタンス134、およびエアギャップ容量124より成る直列共振回路が構成されるが、エアギャップ容量124に充電された軸電圧がこの直列共振回路を経て流れる放電電流が放電モードのベアリング電流となる。

【0013】図11は、コンピュータシミュレーション10を使って計算させた軸電圧の波形と、実際に測定した軸電圧の波形を比較したタイムチャートである。

【0014】図11の(b)は、図10に示す簡易化コモンモード等価回路に適切な回路定数を設定し、図11の(a)で示す振幅 $E_d/3$ の階段状波形をコモンモード電圧とした場合において、コンピュータシミュレーションを使って、エアギャップ容量124の両端に応答電圧として発生する軸電圧を計算させた波形を示す。

【0015】図11の(c)は、軸受装置125が常に非導通状態となる場合において、実際に測定した軸電圧20の波形を示す。図を見て明らかなように、コンピュータシミュレーションにより計算した軸電圧(b)は、実際に測定した軸電圧(c)とほとんど同等であり、簡易化コモンモード等価回路に基づきコンピュータシミュレーションを使って計算した軸電圧波形が、実際の誘導機で測定される軸電圧波形を良く再現していることがわかる。

【0016】図10の簡易型コモンモード等価回路において、コモンモード電圧 $E_c(t)$ に対する、軸電圧 $V_{rs}(t)$ の応答を現す閉じた回路系126の伝達関数を $G(S)$ とすると、伝達関数 $G(S)$ は定義から以下の(数2)で示す式となる。

【0017】

【数2】

$$G(S) = \frac{V_{rs}(S)}{E_c(S)}$$

【0018】ただし、 $V_{rs}(S)$ 、 $E_c(S)$ は、それぞれ、 $v_{rs}(t)$ 、 $e_c(t)$ のラプラス変換式である。

【0019】図10の簡易型コモンモード等価回路において、 $R_1$ は抵抗127の抵抗、 $L_1$ はインダクタンス128のインダクタンス、 $C_{12}$ は結合容量129の静電容量、 $C_{13}$ は結合容量130の静電容量、 $C_{14}$ は結合容量\*

$$V_{rs}(S) = \frac{\alpha E_d}{3S} + \frac{\alpha E_d \cdot (A/\omega_n^2 - 1)}{3S} \cdot \frac{\omega_n^2}{(S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2)}$$

【0030】(数9)の第1項は直流成分で、第2項は2次遅れ要素だから、減衰係数 $\zeta$ の値が(数10)となると

【0031】

【数10】

\*131の静電容量、 $C_{12}$ は結合容量132の静電容量、 $C_{13}$ はエアギャップ容量124の静電容量とて回路方程式をたてた後、伝達関数 $G(S)$ について解くと、伝達関数 $G(S)$ は以下の(数3)で示す式となる。

【0020】

【数3】

$$G(S) = \frac{\alpha \cdot (S^2 + 2\zeta\omega_n S + A)}{(S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2)}$$

【0021】ここで $\zeta$ は減衰係数、 $\omega_n$ は角周波数、 $\alpha$ は係数、 $A$ は係数で、それぞれ(数4)、(数5)、(数6)、(数7)で示す式のことである。

【0022】

【数4】

$$\zeta = \frac{R_1}{2} \sqrt{\frac{(C_3 + C_{20}) \cdot (C_{11} + C_{21}) + C_{11}C_{21}}{L_1(C_3 + C_{20} + C_{21})}}$$

【0023】

【数5】

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(C_3 + C_{20} + C_{21})}{L_1[(C_3 + C_{20}) \cdot (C_{11} + C_{21}) + C_{11}C_{21}]}}$$

【0024】

【数6】

$$\alpha = \frac{C_{20}}{C_3 + C_{20} + C_{11}C_{21} / (C_{11} + C_{21})}$$

【0025】

【数7】

$$A = \frac{C_{20} + C_{21}}{L_1 C_{20} (C_{11} + C_{21})}$$

【0026】インバータより振幅 $E_d/3$ の階段状波形が誘導機に印加された場合、すなわち、コモンモード電圧 $E_c(S)$ を(数8)としたとき

【0027】

【数8】

$$E_c(S) = E_d / 3S$$

【0028】応答電圧として発生する軸電圧 $V_{rs}(S)$ は(数3)および(数8)より(数9)となる。

【0029】

【数9】

 $\zeta < 1$ 

【0032】軸電圧 $V_{rs}(S)$ は振動しつつ直流成分 $V_{rs0}$ に収束する。

【0033】減衰係数 $\zeta$ の値が(数11)となると

50 【0034】

(5)

特開2000-270520

7

8

【数11】

$$\zeta > 1$$

【0035】軸電圧 $V_{rs}(S)$ は非振動となり直流成分 $V_{rs0}$ に収束する。

【0036】ここで、直流成分 $V_{rs0}$ は(数12)に示す式のことである。

【0037】

【数12】

$$V_{rs0} = \alpha E_d A / \omega_n^2$$

【0038】ここで、(数12)に(数5)、(数6)、(数7)を代入すると(数13)となる。

【0039】

【数13】

$$V_{rs0} = E_d \frac{(C_{20} + C_{21})}{C_1 + C_{20} + C_{21}}$$

【0040】図12は、従来のインバータ駆動された誘導機において、減衰係数 $\zeta$ の値の選び方によって変化する軸電圧の波形を説明した説明図である。

【0041】図12の(a)で示すような振幅 $E_d/3$ の階段状波形がコモンモード電圧 $e_{cs}(t)$ として印加された場合、閉じた回路系126の応答電圧として発生する軸電圧 $V_{rs}(t)$ は、2次遅れ要素のインデシャル応答としての挙動を示す。すなわち、減衰係数 $\zeta$ が(数11)で示す範囲内にある場合、2次遅れ要素は過制動または臨界制動となるから、図12の(b)で図示するように、軸電圧 $V_{rs}(t)$ は非振動となり直流成分 $V_{rs0}$ に収束する。次に、減衰係数 $\zeta$ が(数10)で示す範囲内にある場合、2次遅れ要素は不足制動となるから、図12の(c)で図示するように、軸電圧 $V_{rs}(t)$ は振動しつつ直流成分 $V_{rs0}$ に収束する。この場合、減衰係数 $\zeta$ が1と比較して小さくなればなるほど振動の程度も激しくなる。通常の誘導機では、減衰係数 $\zeta$ は(数10)の範囲内となり、軸電圧は振動しつつ直流成分 $V_{rs0}$ に収束する。

【0042】図13は、従来のインバータ駆動された誘導機について、最も大きなベアリング電流が発生する瞬間におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を説明した説明図である。

【0043】図13の(a)で示すような振幅 $E_d/3$ の階段状波形がコモンモード電圧 $e_{cs}(t)$ として誘導機に印加された場合、図12の(c)で説明したのと同様に、軸電圧 $V_{rs}(t)$ は図13の(b)で図示するように、大きく振動しつつ直流成分 $V_{rs0}$  (測定結果から $V_{rs0} = 5V$ )に収束する。軸電圧 $V_{rs}(t)$ が最大ピーク電圧 $V_{rsmax}$  (測定結果から $V_{rsmax} = 42V$ )となる付近で軸受装置125が導通すると、エアギャップ容量124に充電された軸電圧は図10の軸受装置125の抵抗133、インダクタンス134、およびスイッチ135を経て放電する。このとき抵抗133、インダクタンス134およびエアギャップ容量124より成る

直列共振回路が構成され、エアギャップ容量に充電された軸電圧がこの直列共振回路を経て放電するとき流れる電流がベアリング電流となる。ベアリング電流 $i_{bmax}(t)$ は、図13の(c)で図示したような減衰振動波となるが、ベアリング電流の最大ピーク電流 $I_{bmax}$  (測定結果から $I_{bmax} = 520mA$ )は放電直前のエアギャップ容量124に充電された軸電圧に比例する。すなわち、放電直前にエアギャップ容量124に充電される軸電圧が大きいほど大きなベアリング電流が得られる。ゆえに、軸電圧 $V_{rs}(t)$ が最大ピーク電圧 $V_{rsmax}$ となる付近で軸受装置125が導通すると、放電直前でエアギャップ容量に蓄積される軸電圧も最大となるので、このとき最も大きなベアリング電流が発生する。

【0044】以上で述べたように、PWMインバータに駆動された通常の誘導機では、軸電圧が大きく振動し、軸電圧が最大ピーク電圧 $V_{rsmax}$ となる付近で軸受装置が導通すると軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流は最も大きな振幅となり、軸受の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の酸化を招き、場合によっては軸受を損傷または破壊することがある。従って、このような障害が発生しないように、回転機にベアリング電流低減装置が用いられている。通常、このベアリング電流低減装置としては、軸受部を絶縁する方法と回転軸を接地する方法があるが、軸受部を絶縁する方法は、構造が複雑になり、組み立て工程に細心の注意を要し、工数が多くかかり、かつ回転機によっては機械的構造上軸受部の絶縁ができないものもあるので、通常は軸受部を絶縁するよりは簡単で、実施し易い回転軸を接地する方法が用いられている。

【0045】従来、この種のベアリング電流低減装置は、特開昭58-78770号公報、特開昭54-8801号広報、実開昭63-124057号広報、および実開昭58-78769号広報に記載されたものが知られている。

【0046】以下、その従来のベアリング電流低減装置について図14を参照しながら説明する。図に示すように、従来の回転軸を接地する方式の軸電流低減装置136はアースブラシホルダ137、アースブラシホルダ支え138およびアースブラシ組立体139から構成されている。アースブラシホルダ支え138は、導電材料の板材を略L字状に曲げて作られ、その略L字状の垂直部の端部は、ベアリングブラケット140とベアリングブラケット140に接合されたシールド玉軸受141より成る軸受装置125のベアリングブラケット140の部分にボルト142を介して取り付けられ、略L字状の水平部には後述するアースブラシホルダ137が取付けられている。ベアリングブラケット140は誘導機112の金属筐体143にボルト144を介して取付けられている。アースブラシホルダ137はホルダシャフト1

(6)

特開2000-270520

9

10

45 およびキャップ146より成り、ホルダシャंक145はアースブラシホルダ支え138の水平面にねじまたは半田付け等で固定され、その内側には後述するアースブラシ組立体139の取付け穴147が設けられている。アースブラシ組立体139はアースブラシ148、ばね149、ビグテール150およびビグテール支え151より成っている。従って、アースブラシホルダ137のホルダシャंक145の取付け穴147にアースブラシ組立体139を挿入し、ホルダシャंक145にキャップ146を取付ければ、アースブラシ148は、ばね149を介して回転子軸152に押し付けられて接触し、回転子軸152は、常にアースブラシ148、ビグテール150、ビグテール支え151、キャップ146、ホルダシャंक145、アースブラシホルダ支え138、ベアリングブラケット140および金属筐体143を介して接地される。

【0047】

【発明が解決しようとする課題】以上で述べたように、従来のPWMインバータに駆動された誘導機では、インバータ101より誘導機112の巻線113にR相、S相およびT相のPWMスイッチングパターン三相分を重ね合わせたコモンモード電圧が供給される。さらに、巻線113と固定子120との間の結合容量121、巻線113と回転子122との間の結合容量123、および、固定子120と回転子122との間のエアギャップ容量によって閉じた回路系126が構成され、閉じた回路系126の結合容量129に印加されるコモンモード電圧に対する応答電圧として、エアギャップ容量124の両端に軸電圧が発生する。一般的な誘導機では、閉じた回路系126のコモンモード電圧に対する軸電圧の応答を現す伝達関数 $G(s)$ は2次遅れ要素を含み、減衰係数が1に比較してかなり小さな値となるため、インバータ101から立ち上がりの急峻な階段状波形が印加されたとき、2次遅れ要素は不足制動となるため軸電圧は激しく振動し、軸電圧の最大ピーク電圧 $V_{max}$ が大きくなる。軸電圧が最大ピーク電圧 $V_{max}$ となる付近で軸受装置が導通すると、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流も大きくなり、軸受の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化を招き、場合によっては軸受装置を損傷または破壊するという問題があった。

【0048】また、このような問題を解決するための従来のベアリング電流低減装置では、アースブラシ148は、ばね149より回転子軸152に押し付けられているので、回転子軸152の表面を摩耗、損傷させないように、カーボンを主成分とした非常に軟質の導電材料で作られているため摩耗が早く、早いものは2～3箇月で、長くても6～7箇月でアースブラシを交換しなければならないという欠点があった。

【0049】以上述べたように、従来のPWMインバータにより駆動された誘導機では、軸電圧が激しく振動す

るので、軸電圧の放電電流として発生するベアリング電流も大きくなってしまいうという課題があり、ベアリング電流を低減または消滅させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することが要求されている。

【0050】また、従来のベアリング電流低減装置では、ブラシの摩耗による保守を数箇月毎に行う必要があるという課題があり、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減できる低減方法が要求されている。

【0051】本発明は、このような従来の課題を解決するものであり、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、かつ、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置を提供することを目的としている。

【0052】

【課題を解決するための手段】本発明のベアリング電流低減装置は上記目的を達成するために、回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、回転軸に対して垂直方向にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円板部分を切り取った1枚以上の固定円環とを備え、前記回転円環と前記固定円環とは、静電容量を生ずるよう

に非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置としたものである。

【0053】本発明によれば、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、また、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置が得られる。

【0054】また他の手段は、回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、回転軸に対して同心円状にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円柱部分を切り取った1柱以上の固定中空円柱とを備え、前記回転円環と前記固定中空円柱は、静電容量を生ずるよう

に非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置としたものである。

【0055】本発明によれば、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受



(7)

特開2000-270520

11

12

装置の損傷または破壊を防止することができ、また、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置が得られる。

【0056】また他の手段は、回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、内輪部を回転軸に取り付けた1個以上の軸受装置と、回転軸に対して垂直方向に前記軸受装置の外輪部に取り付けられ前記軸受装置の外輪部と同じ大きさの円板部分を切り取った前記軸受と同数の固定円環とを備え、前記固定円環は隣接する固定円環間に導線を介して接続し、固定円環の1つは導線を介してフレームに固定し、前記回転円環と前記固定円環は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置としたものである。

【0057】本発明によれば、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、また、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置が得られる。

【0058】また他の手段は、回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った回転支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記回転支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の回転円筒と、回転軸に対して垂直方向にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円板部分を切り取った固定支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記固定支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の固定円筒を備え、前記固定円筒と前記回転円筒間は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置としたものである。

【0059】本発明によれば、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、また、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置が得られる。

【0060】

【発明の実施の形態】本発明は、フレームを回転機の金属筐体と導線で接続した回転機の軸電流低減装置において、回転軸に取り付けた回転円環をフレームに取り付けた固定円環と非接触で接近した位置に配置させることによって回転円環と固定円環との間で静電容量を形成させ

るか、または、回転軸に取り付けた回転円環をフレームに取り付けた固定中空円柱と非接触で接近した位置に配置させることによって回転円環と固定中空円柱との間で静電容量を形成させるか、または、回転軸に取り付けた回転円環を軸受装置を介して回転子軸に取り付け導線を介してフレームに固定接続した固定円環と非接触で接近した位置に配置させることによって回転円環と固定円環との間で静電容量を形成させるか、または、回転軸に取り付けた回転円筒をフレームに取り付けた固定円筒と非接触で接近した位置に配置させることによって回転円筒と固定円筒との間で静電容量を形成させて回転機の固定子と回転子の間のエアギャップ容量を補強するようにしたものである。

【0061】回転機の巻き線と固定子との間の結合容量、巻き線と回転子との間の結合容量および固定子と回転子との間のエアギャップ容量によって構成される閉じた回路系のコモンモード電圧に対する軸電圧の応答は、2次遅れ要素を有する伝達関数として表現されるが、伝達関数の減衰係数を1と比較して十分大きな値となるように、固定子と回転子との間のエアギャップ容量を十分大きな値に設定すれば、閉じた回路系の伝達関数の2次遅れ要素を過制動で動作させることができ、軸電圧を振動させずに単調に増加させつつ直流成分に収束させることが可能となる。さらに、固定子と回転子との間のエアギャップ容量を十分大きな値とすることにより、軸電圧の収束値となる直流成分も減少するので、放電直前の軸電圧を小さく抑えることになり、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流を低減することができるという作用を有する。

【0062】また、回転円板と固定円環、回転円板と固定中空円柱、または、回転円筒と固定円筒とを非接触で配置するようにしたものであり、従来のベアリング電流低減装置のように軟質の導電材料で作られたアースブラシが回転軸に押し付けられて摩耗するような個所がないため、長時間使用しても保守する必要がないという作用を有する。

【0063】

【実施例】（実施例1）図1に示すように、フレーム1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。半径 $r_2$ の回転軸の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径 $r_1$ の回転円環4（5）は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取付けられている。回転軸3の半径 $r$ よりも大きな内周半径 $r_1$ の円板部分を切り取った外周半径 $r_2$ の固定円環6（7）は、回転軸3に対して垂直方向に回転円環4（5）から距離 $d$ の間隔を隔てて内周半径 $r_1$ のフレーム1の内壁に取付けられている。回転円環4、5、固定円環6、7は、それぞれ、隣接する固定円環、回転円環との間で静電容量を形成するように非接触で間隔 $d$ を隔



13

てて交互に配置されている。回転軸3に取り付けられた軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム1に取り付けられている。

【0064】回転円環4(5)と固定円環6(7)の重なり合う部分の面積 $S_1$  ( $m^2$ )は(数14)で示す面積となる。

【0065】

【数14】

$$S_1 = \pi (r_1^2 - r_3^2)$$

【0066】回転円環4と固定円環6との間の静電容量を $C_1$ とおくと、 $C_1$ は(数15)に示す値となる。

【0067】

【数15】

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S_1}{d}$$

【0068】ここで、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率である。

【0069】同様に、固定円環6と回転円環5との間の静電容量、および、回転円環5と固定円環7との間の静電容量は $C_1$ に等しくなり、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2$ は(数16)で示す静電容量となる。

【0070】

【数16】

$$C_2 = 3 C_1$$

【0071】以上の(数14)、(数15)、(数16)から全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2$ は(数17)で示す静電容量となる。

【0072】

【数17】

$$C_2 = \frac{3 \pi \epsilon_0 (r_1^2 - r_3^2)}{d}$$

【0073】実施例1の誘導機112の回転子と固定子間のエアギャップ容量 $C_3$ は、全ての回転円環と固定円環間で形成される合成静電容量 $C_2$ と、誘導機112の固定子120と回転子122間のみで形成されるエアギャップ容量 $C_4$ とを合成した静電容量となる。ゆえに、実施例1のエアギャップ容量 $C_3$ は(数18)で示す静電容量となる。

【0074】

【数18】

$$C_3' = C_3 + C_4$$

【0075】軸電圧が非振動となるための条件は、従来例で述べた(数4)の $C_3$ を $C_3'$ に置き換えて(数1)から(数19)となる。

【0076】

【数19】

(8)

特開2000-270520

14

$$\frac{R_1}{2} \sqrt{\frac{(C_3' + C_2) \cdot (C_1 + C_2) + C_1 C_2}{L_1 (C_3' + C_2 + C_2)}} > 1$$

【0077】(数19)を $C_3'$ について解くと(数20)となる。

【0078】

【数20】

$$C_3' > = \frac{\frac{4 L_1 - C_2 - C_1 C_2}{R_1^2}}{1 - \frac{C_1 + C_2}{4 L_1}} \cdot \frac{C_1 + C_2}{R_1^2 (C_1 + C_2)}$$

10

【0079】回転円環の外周半径 $r_1$ 、固定円環の内周半径 $r_3$ 、回転円環と固定円環の間隔 $d$ 、または、回転円環と固定円環の段数を適当に選んで、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2$ を十分大きな静電容量に設定して、エアギャップ容量 $C_3'$ が(数20)を満足できるようにすれば、減衰係数は1以上となり、閉じた回路系126の伝達関数の2次遅れ要素は過制動となり、軸電圧は振動せずに単調に増加しつつ直流成分 $V_{r,dc}$ に収束する。

【0080】さらに、エアギャップ容量 $C_3'$ を十分大きな値に設定すると、(数13)で明らかなように、軸電圧の収束値である直流成分 $V_{r,dc}$ が小さく抑えられるので、放電直前の軸電圧は常に小さく抑圧され、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流も小さく抑えることができる。

【0081】図2は実施例1のベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を明示したタイムチャートである。図2では、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2 = 480$  pF に設定した場合について説明している。

【0082】図2の(a)で示すような階段状波形がコモンモード電圧として誘導機に印加されると、実施例1では、軸電圧が非振動となる条件である(数20)を満足する十分大きなエアギャップ容量 $C_3'$ が設定されているので、軸電圧は、図2の(b)で示すような非振動で直流成分 $V_{r,dc}$ に収束するような波形が得られる。エアギャップ容量 $C_3'$ が十分大きいと、従来例で述べた(数13)で明らかなように、軸電圧の収束値である直流成分 $V_{r,dc}$ は小さく抑えられる。軸電圧が、このような低レベルの直流成分 $V_{r,dc}$  (測定結果から $V_{r,dc} = 5$  V)で落ち着いている時、軸受がたまたま導通すると、図2の(c)に示すようなベアリング電流が流れるが、放電直前の軸電圧が小さいので振幅の小さなベアリング電流 (測定結果からベアリング電流の最大波高値は $I_{max} = 60$  mA) しか流れない。

【0083】図3は、ベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機における合成静電容量 $C_2$ とベ

50

(9)

特開2000-270520

15

アリング電流の最大波高値  $I_{max}$  との関係を図示したグラフである。図3のグラフは、実施例1のベアリング電流低減装置を備えた誘導機において、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量を適当な  $C_1$  に設定したとき、軸受に流れるベアリング電流を観測し、ベアリング電流の最大波高値  $I_{max}$  を測定して、これらの関係を図示したものである。図3から明らかなように、ベアリング電流低減装置が無い場合、すなわち回転円環と固定円環の間で形成される静電容量  $C_1$  を零としたとき、最大波高値が520mA程度のベアリング電流が発生するが、回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量を  $C_1 = 480$  pF に設定したベアリング電流低減装置を備えた誘導機において、ベアリング電流の最大波高値はその約十分の一程度に抑圧されており ( $I_{max} = 60$  mA) 効果的にベアリング電流が低減されていることがわかる。

【0084】(実施例2) 図4に示すように、フレーム1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。半径  $r_2$  の回転軸の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径  $r_1$  の回転円環4(5)は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取付けられている。回転軸3の半径  $r_1$  よりも大きな内径  $r_2$  の円柱部分を取り去った外周半径  $r_1$  の固定中空円柱12(13)は、回転軸3に対して同心円状に回転円板4(5)から距離  $d$  の間隔を隔てて内周半径が  $r_2$  のフレーム1の内壁に取付けられている。回転円環4、5、固定中空円柱12、13は、それぞれ、隣接する固定中空円柱、回転円環との間で静電容量を生ずるよう非接触となるように間隔  $d$  を隔てて交互に配置されている。回転軸3に取り付けられた軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム143に取り付けられている。

【0085】回転円環4(5)と固定中空円柱12(13)の重なり合う部分の面積  $S_1$  ( $m^2$ ) は(数21)で示す面積となる。

【0086】

【数21】

$$S_1 = \pi (r_1^2 - r_2^2)$$

【0087】回転円環1と固定中空円柱5との間の静電容量を  $C_1$  とおくと、 $C_1$  は(数22)に示す値となる。

【0088】

【数22】

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S_1}{d}$$

【0089】ここで、 $\epsilon_0$  は真空中の誘電率である。

【0090】同様に、固定中空円柱12と回転円環5との間の静電容量、回転円環5と固定中空円柱13との間の静電容量は  $C_1$  に等しくなるので、全ての回転円環と

16

固定中空円柱との間で形成される合成静電容量  $C_2$  は(数23)で示す静電容量となる。

【0091】

【数23】

$$C_2 = 3 C_1$$

【0092】以上の(数21)、(数22)、(数23)から全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量  $C_2$  は(数24)で示す静電容量となる。

【0093】

【数24】

$$C_2 = \frac{3 \pi \epsilon_0 (r_1^2 - r_2^2)}{d}$$

【0094】実施例2において、実施例1と同様の理由により、回転円環の外周半径  $r_1$ 、固定中空円柱の内周半径  $r_2$ 、回転円環と固定中空円柱との間隔  $d$ 、または、回転円環と固定中空円柱の段数を適当に設定して、全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量  $C_2$  を十分大きな静電容量に設定して、固定子と回転子との間のエアーギャップ容量  $C_3$  を(数20)を満足する範囲に設定すれば、ベアリング電流を低減することができる。以降、ベアリング電流を低減できる説明は実施例1と同様の説明となるので省略する。

【0095】(実施例3) 図5に示すように、フレーム1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。外周半径  $r_1$  の回転軸の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径  $r_1$  の回転円環4(5)は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取り付けられている。軸受装置14(15)の内輪部16(17)は、回転軸3に取り付けられ、軸受装置14(15)の外輪部18(19)の外周面に内接する半径  $r_2$  の円板部分を切り取った外周半径  $r_1$  の固定円環20(21)は、回転軸3に対して垂直方向に回転円環4(5)と距離  $d$  の間隔を隔てた位置に軸受装置14(15)の外周半径が  $r_2$  の外輪部18(19)の外周面に取付けられている。回転円環4、5、固定円環20、21は、それぞれ、隣接する固定円環、回転円環との間で静電容量を生ずるよう非接触となるように間隔  $d$  を隔てて交互に配置されている。固定円環20と固定円環21は導線22を介して接続され、固定円環21は導線23を介してフレーム1の内壁に固定接続されている。

【0096】回転軸3に取り付けられた軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム1に取り付けられている。

【0097】回転円環4(5)と固定円環20(21)の重なり合う部分の面積  $S_1$  ( $m^2$ ) は(数25)に示す面積となる。

【0098】

(10)

特開2000-270520

17

18

【数25】

$$S_3 = \pi (r_1^2 - r_3^2)$$

【0099】回転円環4と固定円環20との間の静電容量を $C_1$ とおくと、 $C_1$ は(数26)に示す値となる。

【0100】

【数26】

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S_3}{d}$$

【0101】ここで、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率である。

【0102】同様に、固定円環20と回転円環5との間の静電容量、回転円環5と固定円環21との間の静電容量は $C_1$ に等しくなるので、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2$ は(数27)で示す静電容量となる。

【0103】

【数27】

$$C_2 = 3 C_1$$

【0104】以上の(数25)、(数26)、(数27)から全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2$ は(数28)で示す静電容量となる。

【0105】

【数28】

$$C_2 = \frac{3 \pi \epsilon_0 (r_1^2 - r_3^2)}{d}$$

【0106】実施例3において、実施例1と同様の理由により、回転円環の外周半径 $r_1$ 、固定円環の内周半径 $r_3$ 、回転円環と固定円環との間隔 $d$ 、または、回転円環と固定中空円柱の段数を適当に設定して、全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量 $C_2$ を十分大きな静電容量に設定して、誘導機112の固定子と回転子との間のエアギャップ容量 $C_1'$ を(数20)を満足する範囲に設定すれば、ベアリング電流を低減することができる。以降、ベアリング電流を低減できる説明は実施例1と同様の説明となるので省略する。

【0107】(実施例4)図6に示すように、フレーム1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。半径 $r_2$ の回転軸3の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径 $r_4$ の回転支持円環24は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取付けられ、外周半径を $r_4$ 、内周半径を $r_2$ とする回転円筒25、および、外周半径を $r_4$ 、内周半径を $r_2$ とする回転円筒26は、回転軸3に対して同心円状に回転支持円環24に取付けられている。同様に、回転軸3の外周半径 $r_2$ よりも大きな半径 $r_6$ の円板部分を切り取った外周半径 $r_6$ の固定支持円環27は、回転軸3に対して \*

$$C_3 = 2 \pi \epsilon_0 L \left[ \frac{1}{\ln(r_2/r_1)} + \frac{1}{\ln(r_{12}/r_8)} + \frac{1}{\ln(r_9/r_{13})} \right]$$

【0118】実施例4において、実施例1と同様の理由

\* 垂直方向に内周半径が $r_4$ のフレーム1の内壁に取付けられ、外周半径を $r_{11}$ 、内周半径を $r_{12}$ とする固定円筒28、および、外周半径を $r_{11}$ 、内周半径を $r_{12}$ とする回転円筒29は、回転軸3に対して同心円状に固定支持円環27に取付けられている。回転円環25、26、固定円筒28、29は、それぞれ、隣接する固定円環、回転円筒との間で静電容量を形成するように非接触となる位置に交互に配置されている。回転軸3の軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム1に取り付けられている。

【0108】回転円筒25(26)と固定円筒28(29)の軸方向に重なり合う部分の長さを $L$ とすると、回転円筒25と固定円筒28との間で形成される静電容量 $C_{41}$ は(数29)となる。

【0109】

【数29】

$$C_{41} = \frac{2 \pi \epsilon_0 L}{\ln(r_7/r_{11})}$$

【0110】固定円筒28と回転円筒26との間で形成される静電容量 $C_{42}$ は(数30)となる。

【0111】

【数30】

$$C_{42} = \frac{2 \pi \epsilon_0 L}{\ln(r_{12}/r_8)}$$

【0112】回転円筒26と固定円筒29との間で形成される静電容量 $C_{43}$ は(数31)なる。

【0113】

【数31】

$$C_{43} = \frac{2 \pi \epsilon_0 L}{\ln(r_9/r_{13})}$$

【0114】全ての回転円筒と固定円筒との間で形成される合成静電容量 $C_3$ は(数32)で示す静電容量となる。

【0115】

【数32】

$$C_3 = C_{41} + C_{42} + C_{43}$$

【0116】全ての回転円筒と固定円筒との間で形成される合成静電容量 $C_3$ は(数29)、(数30)、(数31)、(数32)より(数33)で示す静電容量となる。

【0117】

【数33】

により、回転円筒と固定円筒の内周半径 $r_2$ 、 $r_8$ 、



(11)

特開2000-270520

19

20

$r_{12}$ 、外周半径  $r_0$ 、 $r_{11}$ 、 $r_{12}$ 、回転円筒25、26と固定円筒28、29の軸方向に重なり合う部分の長さL、または、回転円筒と固定円筒の段数を適当に選んで、全ての回転円筒と固定円筒との間で形成される合成静電容量C<sub>s</sub>を十分大きな静電容量に設定して、誘導機112の固定子と回転子との間のエアギャップ容量C<sub>g</sub>を(数20)を満足する範囲に設定すれば、ベアリング電流を低減することができる。以降、ベアリング電流を低減できる説明は実施例1と同様の説明となるので省略する。

【0119】

【発明の効果】以上の実施例から明らかなように、本発明によれば、回転機の金属筐体とベアリング電流低減装置を導線で接続し、実施例1の回転軸に取り付けられた回転円環とフレームに取り付けられた固定円環、実施例2の回転軸に取り付けられた回転円環とフレームに取り付けられた固定中空円柱、実施例3の回転軸に取り付けられた回転円環と軸受装置を介して回転軸に取付けられたフレームに固定接続された固定円環、または、実施例4の回転軸に取り付けた回転円筒とフレームに取り付けた固定円筒を非接触で接近させて静電容量を形成し、回転機の固定子と回転子との間のエアギャップ容量を補強することによって、インバータより誘導機に印加される立ち上がりの急峻なコモンモード電圧の応答電圧として発生する軸電圧を非振動で動作させ、この時同時に、軸電圧の収束値となる直流成分も小さくなるので、放電直前の軸電圧を著しく小さく抑えることができ、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流を低減することができ、軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の異化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、という効果のあるベアリング電流低減装置を提供できる。

【0120】また、本発明によれば、実施例1の回転円環と固定円環、実施例2の回転円環と固定中空円柱、実施例3の回転円環と固定円環、または、実施例4の回転円筒と固定円筒を非接触で接近させる事によってベアリング電流を低減している、従来のベアリング電流低減装置のように軟質の導電材料を回転軸に押し付けているため、数ヶ月でブラシ交換を必要とするような保守の必要なもくベアリング電流を低減することができるという効果のあるベアリング電流低減装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1のベアリング電流低減装置の側面図

【図2】同ベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を図示したタイムチャート

【図3】同ベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機における合成静電容量C<sub>s</sub>とベアリング電流の最大波高値I<sub>max</sub>との関係を図示したグラフ

【図4】本発明の実施例2のベアリング電流低減装置の

側面図

【図5】本発明の実施例3のベアリング電流低減装置の側面図

【図6】本発明の実施例4のベアリング電流低減装置の側面図

【図7】従来のPWMインバータに駆動された誘導機の原理的回路図

【図8】従来のPWMインバータに駆動された誘導機の各部の波形を説明する説明図

10 【図9】従来のインバータ駆動された誘導機のコモンモード等価回路図

【図10】従来のインバータ駆動された誘導機の簡略化コモンモード等価回路図

【図11】従来のインバータ駆動された誘導機において、コンピュータシミュレーションを使って計算させた軸電圧の波形と、実際に測定した軸電圧の波形を比較したタイムチャート

20 【図12】従来のインバータ駆動された誘導機において、減衰係数αの値の選び方によって変化する軸電圧の波形を説明した説明図

【図13】従来のインバータ駆動された誘導機について、最も大きなベアリング電流が発生する瞬間におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を説明した説明図

【図14】従来のベアリング電流低減装置の側面図

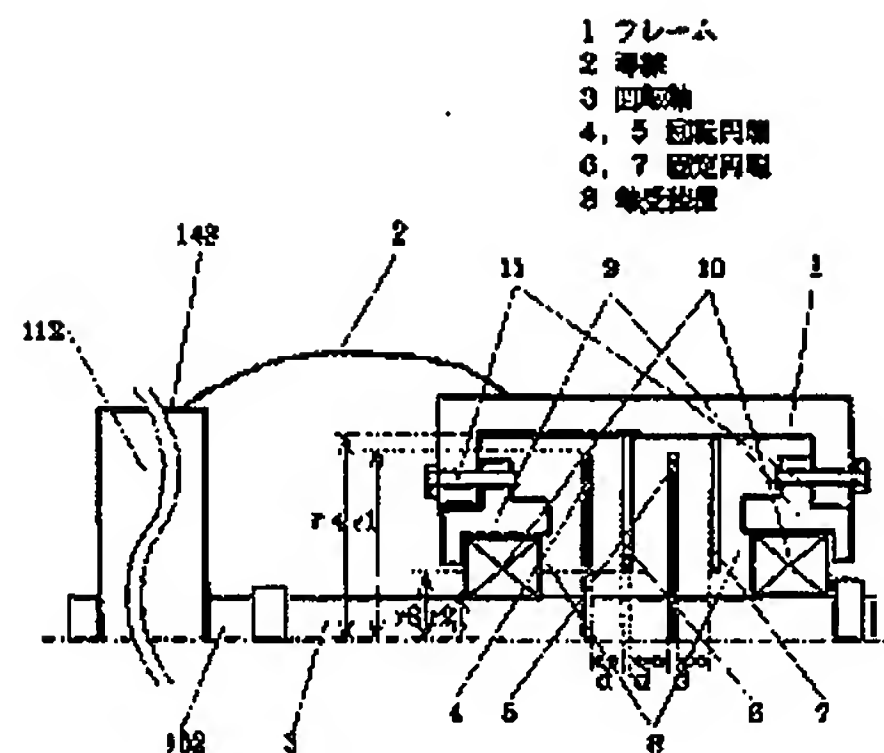
【符号の説明】

- 1 フレーム
- 2 導線
- 3 回転軸
- 4 回転円環
- 5 回転円環
- 6 固定円環
- 7 固定円環
- 8 軸受装置
- 12 固定中空円柱
- 13 固定中空円柱
- 14 軸受装置
- 15 軸受装置
- 16 内輪部
- 17 内輪部
- 18 外輪部
- 19 外輪部
- 20 固定円環
- 21 固定円環
- 22 導線
- 23 導線
- 24 回転指示円環
- 25 固定円筒
- 26 固定円筒
- 27 固定指示円環

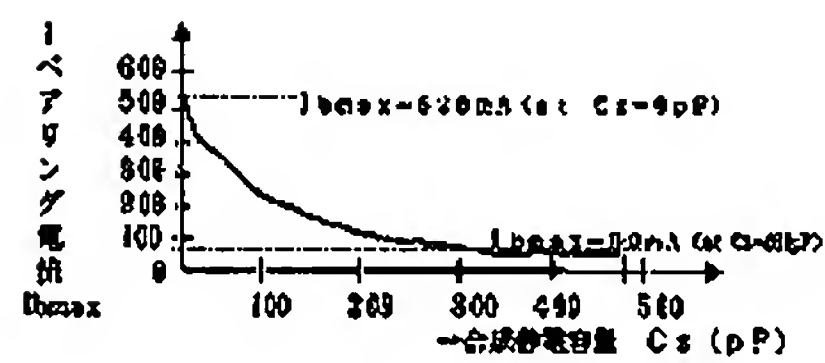
28 回転円筒

21

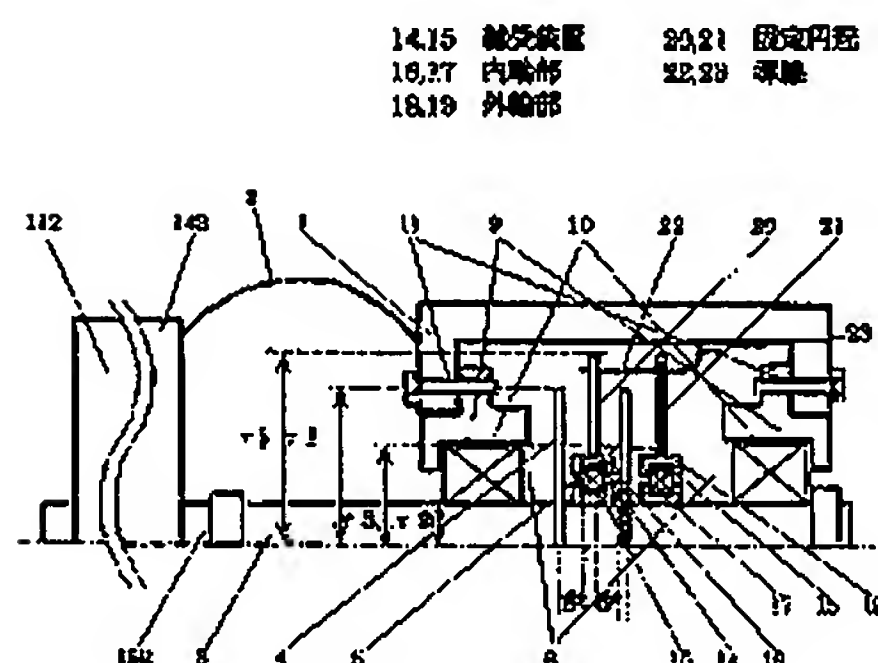
【図1】



【図3】



【図5】



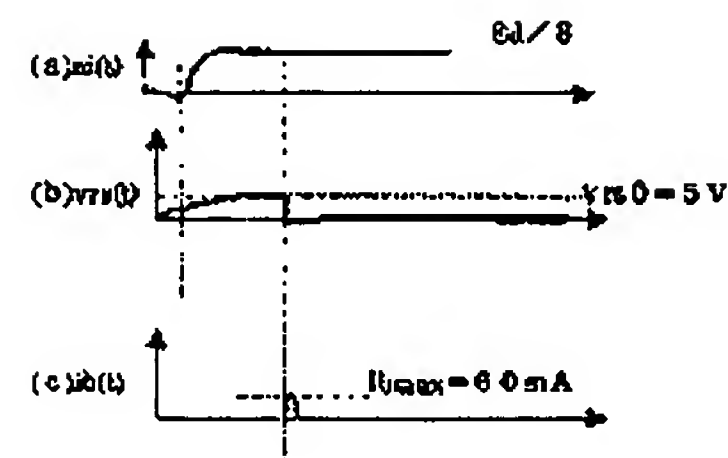
(12)

特開2000-270520

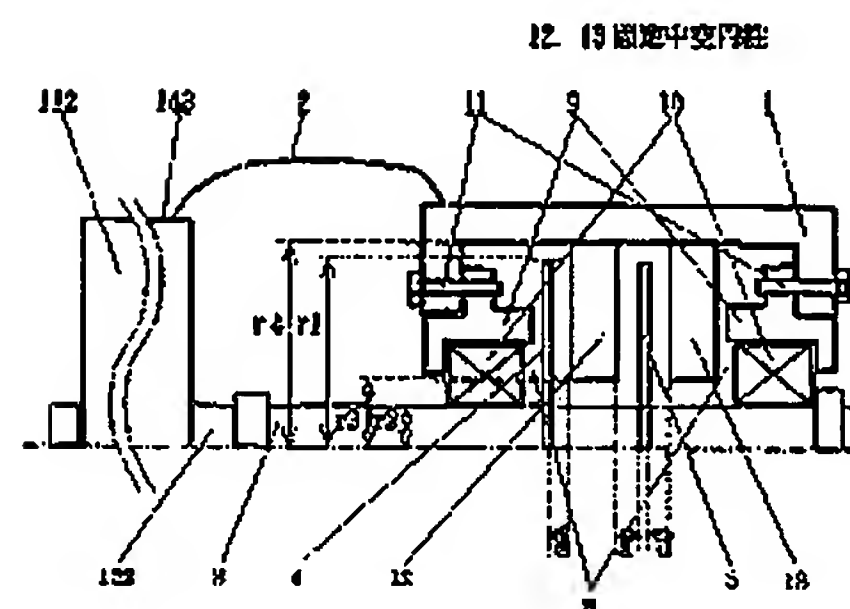
22

\* \* 29 回転円筒

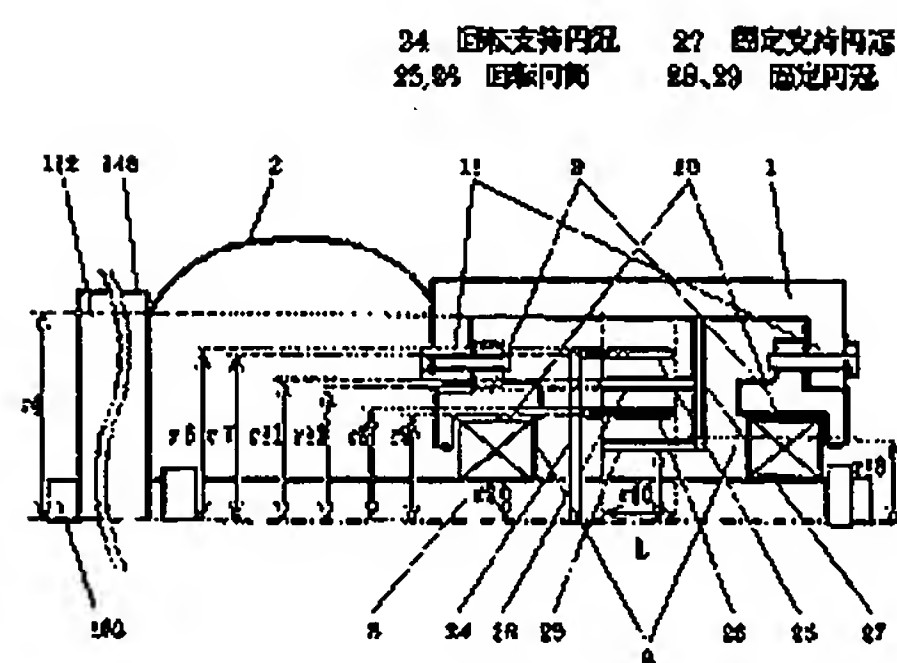
【図2】



【図4】



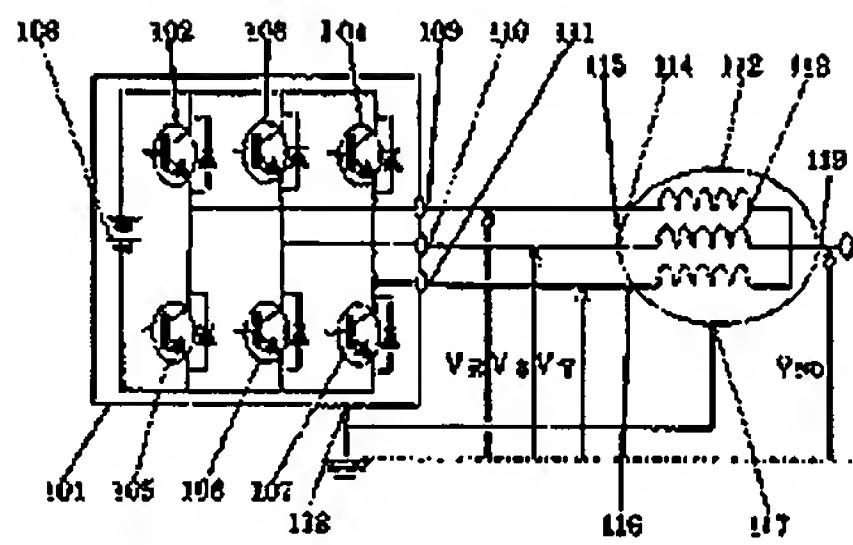
【図6】



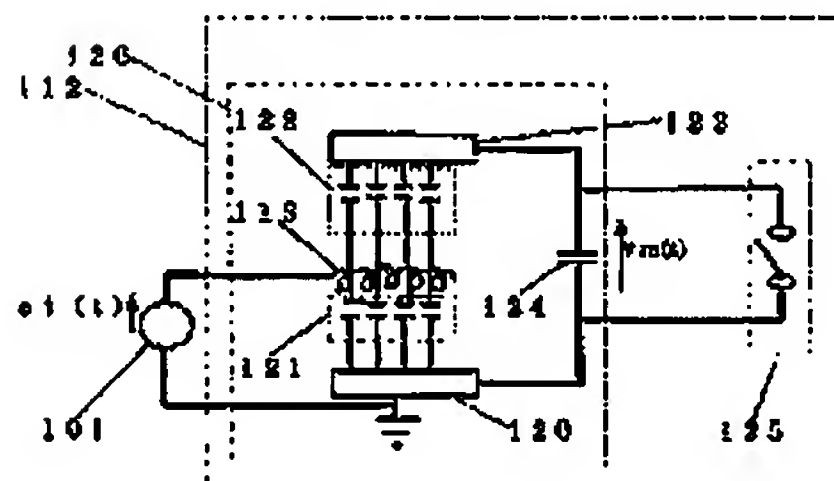
(13)

特開2000-270520

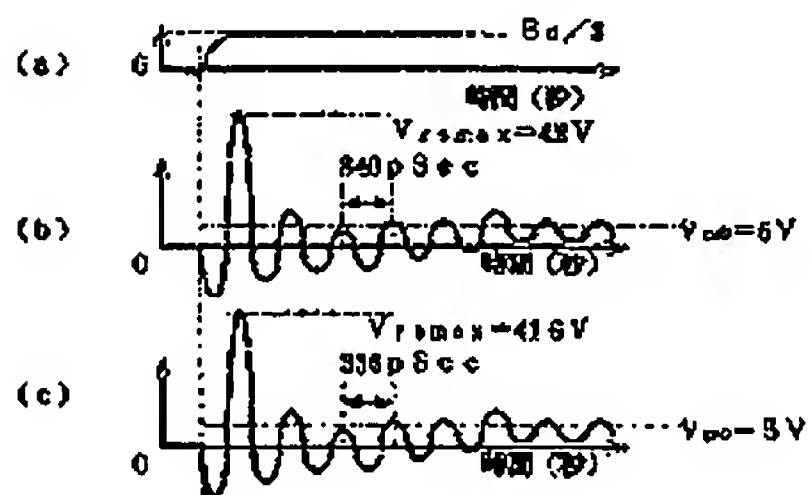
【図7】



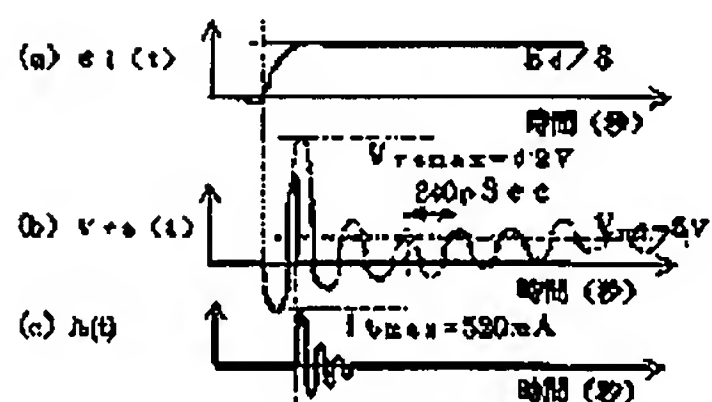
【図9】



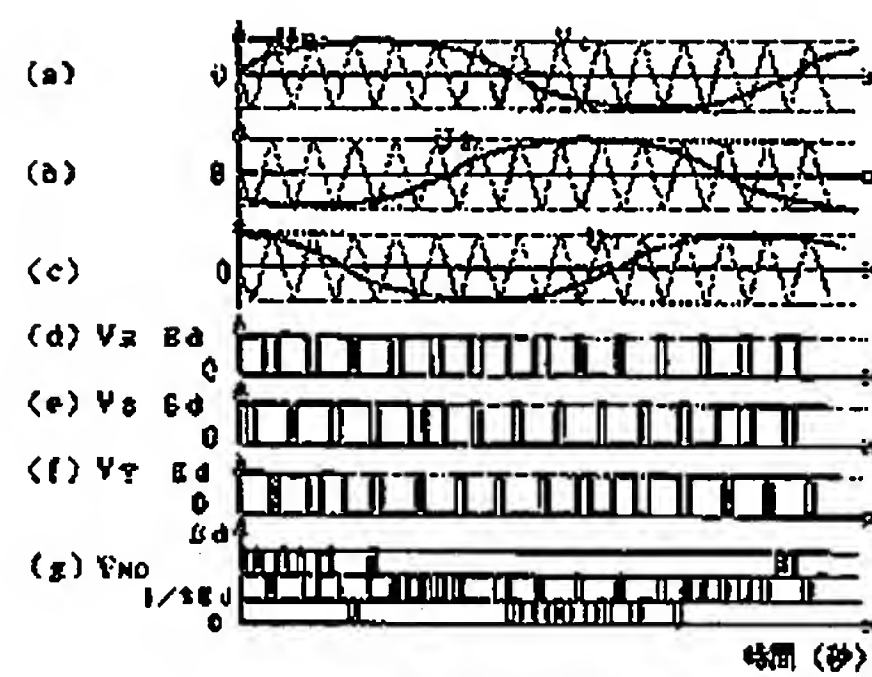
【図11】



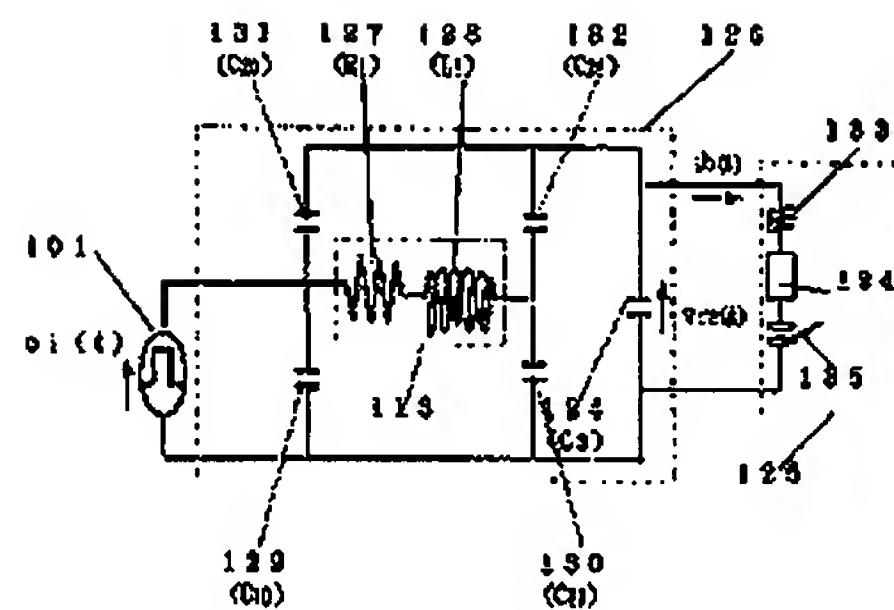
【図13】



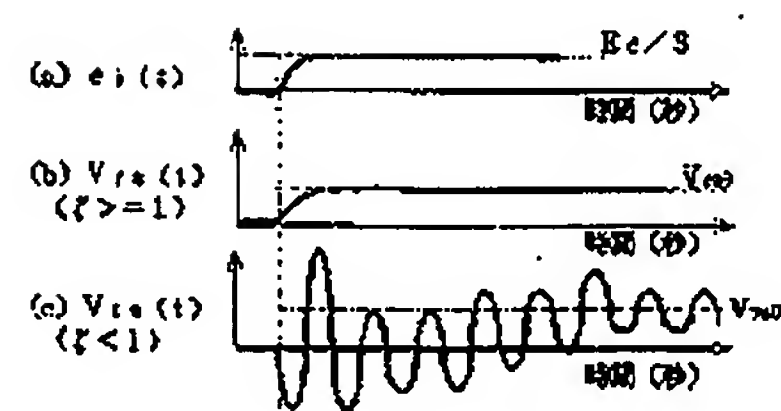
【図8】



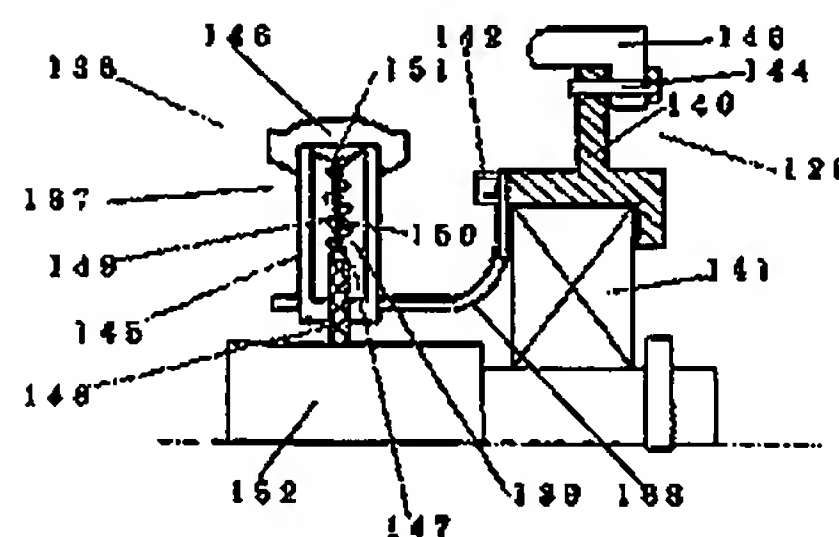
【図10】



【図12】



【図14】





(14)

特開2000-270520

【手続補正書】

【提出日】平成12年1月25日(2000.1.25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】回転機のベアリング電流低減装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、内輪部を回転軸に取り付けた1個以上の軸受装置と、回転軸に対して垂直方向に前記軸受装置の外輪部に取り付けられ前記軸受装置の外輪部と同じ大きさの円板部分を切り取った前記軸受と同数の固定円環とを備え、前記固定円環は隣接する固定円環間に導線を介して接続し、固定円環の1つは導線を介してフレームに固定し、前記回転円環と前記固定円環は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置。

【請求項2】 回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った回転支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記回転支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の回転円筒と、回転軸に対して垂直方向にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円板部分を切り取った固定支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記固定支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の固定円筒を備え、前記固定円筒と前記回転円筒間は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回転機の軸受部に流れるベアリング電流を低減する誘導機のベアリング電流低減装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、誘導機を始めとする回転機を回転数制御する方法としてインバータ等の電力変換機によって駆動するのが一般的となってきた。インバータ駆動の

方式として高圧形PWMインバータが最も良く知られている。この種のインバータ駆動方式では、変調正弦波信号の振幅に比例したパルス幅の一定キャリア周期を持つ矩形波状の高圧パルス列を誘導機に印加して、誘導機の固定子巻線に流れる電流を変調正弦波信号の周波数に等しい正弦波が流れるようにして誘導機を駆動する。

【0003】さて、最近の高速電力用半導体素子の発展に伴って、高圧形PWMインバータのキャリア周波数の高周波化が進み、インバータのスイッチング時に生じる急峻な電圧変化に起因して発生する誘導機のベアリング電流による軸受部の不具合が指摘されている。このベアリング電流には、例えば、「PWMインバータによって発生する誘導電動機のベアリング電流」(ショータン・チェン、アイイーイーイー・トランザクション・オン・エナジー・コンバージョン、11号1巻ナンバー1、1996年3月)(Analysis of Induction Motor Bearing Currents Caused by PWM Inverters, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 1, March 1996)に紹介されているように、振幅が最も大きく頻繁に発生する放電モードのベアリング電流がある。この種のベアリング電流は、インバータから誘導機の巻線に供給される立ち上がりの急峻なコモンモード電圧が、誘導機の巻線と固定子間の結合容量、巻線と回転子間の結合容量および固定子と回転子間のエアギャップ容量によって構成される閉じた回路系に印加されたときに発生する応答電圧として、固定子と回転子間の静電容量に蓄積された静電圧の放電現象として発生するものである。固定子と回転子間の静電容量に蓄積された軸電圧が、軸受部の油膜を絶縁破壊させて軸受部を導通状態にさせ、軸受部を介して静電容量に蓄積された軸電圧を放電させるとき流れる放電電流が放電モードのベアリング電流である。

【0004】図7は従来のPWMインバータに駆動された誘導機の原理的回路図を示し、図8は従来のPWMインバータに駆動された誘導機の各部の波形を説明する説明図である。図7、図8を併用して、PWMインバータが誘導機巻線系にコモンモード電圧を供給するコモンモード電圧の発生メカニズムを説明する。

【0005】図7において、インバータ101はスイッチング素子102～107および直流電源108から成り、インバータ101のR相、S相およびT相出力端子109～111は誘導機112の固定子巻線113のR相、S相およびT相タップ114～116にそれぞれ結線されている。誘導機112のフレームグランド端子117は、インバータ101のフレームグランド端子118に接続され、さらに、フレームグランド端子118は大地にアース接続されている。

(15)

特開2000-270520

【0006】図8の(a)、(b)、(c)はキャリア波信号 $V_c$ と各相のインバータ指令値 $U_a$ 、 $U_s$ 、 $U_r$ との比較により、インバータ101におけるON-OFF制御信号の形成を説明するものである。図8において、横軸を時間軸にとり、図8の(a)、(b)、(c)の太線で図示された正弦波がインバータ101のRS、T各相のインバータ指令値( $U_a$ 、 $U_s$ 、 $U_r$ )を示す。同図上に三角波状の細線で示された波形がキャリア波信号 $V_c$ である。キャリア波信号 $V_c$ がインバータ指令値 $U_a$ 、 $U_s$ 、 $U_r$ よりも低いときは、該当するスイッチング素子102～104側が導通し、スイッチング素子105～107側が非導通となる。逆に、キャリア波信号 $V_c$ がインバータ指令値 $U_a$ 、 $U_s$ 、 $U_r$ よりも高いときは、該当するスイッチング素子102～104側が非導通となり、スイッチング素子105～107側が導通となる。

【0007】図8の(d)、(e)、(f)は図7に図示されるスイッチング素子のアーム対(102、105)、(103、106)、(104、107)の中間点と大地との間に形成される電圧 $V_a$ 、 $V_s$ 、 $V_r$ を示す。説明の簡略化のため図8の(a)、(b)でR相における関係について説明する。キャリア波電圧 $V_c$ がインバータ指令値 $U_a$ より高いときは、スイッチング素子105が導通しアーム対(102、105)と大地間の電圧 $V_a$ は零となる。尚、 $E_a$ は直流電流108の両端の電圧値である。次に、キャリア波電圧 $V_c$ がインバータ指令値 $U_a$ より低いときは、スイッチング素子102が導通しアーム対(102、105)と大地間の電圧 $V_a$ は $+E_a$ となる。

【0008】図8の(g)は巻き線113に印可されるコモンモード電圧の関係を示す。

【0009】巻き線113の中性点119の大地を基準とする電位、すなわち、中性点電位 $V_{no}$ は、通常、上述の電圧 $V_a$ 、 $V_s$ 、 $V_r$ の平均電圧(数1)となる。

【0010】

【数1】

$$V_{no} = (V_a + V_s + V_r) / 3$$

【0011】ゆえに、中性点電位 $V_{no}$ には、上述の電圧 $V_a$ 、 $V_s$ 、 $V_r$ 三相分を重ね合わせたコモンモードの電圧が発生している。すなわち、中性点電位 $V_{no}$ にはPWMスイッチングパターン3相分を重ね合わせた波形が発生することになる。

【0012】図9は、従来のインバータ駆動された誘導機のコモンモード等価回路図である。図に示すように、誘導機112には、巻き線113と固定子120との間に結合容量121が存在し、また、巻き線113と回転子122との間にも結合容量123が存在している。さらに、固定子120と回転子122の間にはエアーギャップ容量124が存在している。ここでは、誘導機が適当な回転数で回転して軸受装置125が流体潤滑モ-

ドとなっている場合について考える。この場合、軸受装置125は非導通状態となるが、巻き線113、結合容量121、結合容量123、および、エアーギャップ容量124によって図示するような閉じた回路系126が構成される。インバータ101から巻き線113と固定子120との間にコモンモード電圧 $e_c(t)$ が印加されると、閉じた回路系126を介してエアーギャップ容量124の両端に軸電圧 $V_{ax}(t)$ が発生する。すなわち、インバータ101が供給するコモンモード電圧 $e_c(t)$ に対する閉じた回路系126の応答電圧として軸電圧 $V_{ax}(t)$ が発生する。

【0013】図10は、従来のインバータ駆動された誘導機の簡略化コモンモード等価回路図である。図に示すように、巻き線113は、抵抗127とインダクタンス128の直列回路に置き換えられている。巻き線113と固定子120との間の結合容量121は結合容量129、130に、巻き線113と回転子122との間の結合容量123は結合容量131、132に簡略化されている。固定子120と回転子122との間のエアーギャップ容量124は、前述した巻き線113の抵抗127とインダクタンス128と結合容量129～132とで閉じた回路系126を構成するように接続されている。コモンモード電圧 $e_c(t)$ が結合容量129の両端に印可されると、閉じた回路系126を経てエアーギャップ容量124の両端に軸電圧 $V_{ax}(t)$ が発生する。すなわち、インバータが供給するコモンモード電圧に対する閉じた回路系126の応答電圧として軸電圧が発生する。同図で図示するように、抵抗133、インダクタンス134、およびスイッチ135は、軸受装置125の等価回路を示すものである。誘導機112が停止または低速で回転しているとき、軸受装置125は境界潤滑状態となりスイッチ135は常に導通状態となり、エアーギャップ容量124には軸電圧は発生しない。誘導機112が適当な回転数で回転しているとき、軸受装置125は流体潤滑となりスイッチ135は普段は非導通状態となるが、ときどき導通状態となる。ゆえに、軸受装置125が流体潤滑となる場合では、軸受装置125が非導通状態のとき、前述した理由からエアーギャップ容量124に軸電圧が蓄積されるが、ときどき、軸受装置125が導通状態となると、エアーギャップ容量124に蓄積された軸電圧は、抵抗133、インダクタンス134およびスイッチ135を経て放電する。このとき、抵抗133、インダクタンス134、およびエアーギャップ容量124より成る直列共振回路が構成されるが、エアーギャップ容量124に充電された軸電圧がこの直列共振回路を経て流れる放電電流が放電モードのベアリング電流となる。

【0014】図11は、コンピュータシミュレーションを使って計算させた軸電圧の波形と、実際に測定した軸電圧の波形を比較したタイムチャートである。

(15)

特開2000-270520

【0015】図11の(b)は、図10に示す簡略化コモンモード等価回路に適切な回路定数を設定し、図11の(a)で示す振幅 $E_0/3$ の階段状波形をコモンモード電圧とした場合において、コンピュータシミュレーションを使って、エアーギャップ容量124の両端に応答電圧として発生する軸電圧を計算させた波形を示す。

【0016】図11の(c)は、軸受装置125が常に非導通状態となる場合において、実際に測定した軸電圧の波形を示す。図を見て明らかなように、コンピュータシミュレーションにより計算した軸電圧(b)は、実際に測定した軸電圧(c)とほとんど同等であり、簡易化コモンモード等価回路に基づきコンピュータシミュレーションを使って計算した軸電圧波形が、実際の誘導機で測定される軸電圧波形を良く再現していることがわかる。

【0017】図10の簡易型コモンモード等価回路において、コモンモード電圧 $e_c(t)$ に対する、軸電圧 $V_{rs}(t)$ の応答を現す閉じた回路系126の伝達関数を $G(s)$ とすると、伝達関数 $G(s)$ は定義から以下の(数2)で示す式となる。

【0018】

【数2】

$$G(s) = \frac{V_{rs}(s)}{E_c(s)}$$

【0019】ただし、 $V_{rs}(s)$ 、 $E_c(s)$ は、それぞれ、 $V_{rs}(t)$ 、 $e_c(t)$ のラプラス変換式である。

【0020】図10の簡易型コモンモード等価回路において、 $R_1$ は抵抗127の抵抗、 $L_1$ はインダクタンス128のインダクタンス、 $C_{10}$ は結合容量129の静電容量、 $C_{11}$ は結合容量130の静電容量、 $C_{12}$ は結合容量131の静電容量、 $C_{13}$ は結合容量132の静電容量、 $C_1$ はエアーギャップ容量124の静電容量とにおいて回路方程式を立てた後、伝達関数 $G(s)$ について解くと、伝達関数 $G(s)$ は以下の(数3)で示す式となる。

【0021】

【数3】

$$G(s) = \frac{\alpha \cdot (s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}$$

【0031】(数9)の第1項は直流成分で、第2項は2次遅れ要素だから、減衰係数 $\zeta$ の値が(数10)となると

【0032】

\*【0022】ここで $\zeta$ は減衰係数、 $\omega_n$ は角周波数、 $\alpha$ は係数、 $A$ は係数で、それぞれ(数4)、(数5)、(数6)、(数7)で示す式のことである。

【0023】

【数4】

$$\zeta = \frac{R_1}{2} \sqrt{\frac{(C_3 + C_{20}) \cdot (C_{11} + C_{21}) + C_{11}C_{21}}{L_1(C_3 + C_{20} + C_{21})}}$$

【0024】

【数5】

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(C_3 + C_{20} + C_{21})}{L_1((C_3 + C_{20}) \cdot (C_{11} + C_{21}) + C_{11}C_{21})}}$$

【0025】

【数6】

$$\omega_n = \sqrt{\frac{(C_3 + C_{20} + C_{21})}{L_1((C_3 + C_{20}) \cdot (C_{11} + C_{21}) + C_{11}C_{21})}}$$

【0026】

【数7】

$$A = \frac{C_{20} + C_{21}}{L_1 C_{20} (C_{11} + C_{21})}$$

【0027】インバータより振幅 $E_0/3$ の階段状波形が誘導機に印加された場合、すなわち、コモンモード電圧 $E_c(s)$ を(数8)としたとき

【0028】

【数8】

$$E_c(s) = E_0/3s$$

【0029】応答電圧として発生する軸電圧 $V_{rs}(s)$ は(数3)および(数8)より(数9)となる。

【0030】

【数9】

$$V_{rs}(s) = \frac{\alpha E_1}{3s} + \frac{\alpha E_1 \cdot (A/\omega_n^2 - 1)}{3s} \cdot \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}$$

【数10】

$$\zeta < 1$$

【0033】軸電圧 $V_{rs}(s)$ は振動しつつ直流成分 $V$



(17)

特開2000-270520

$V_{r,0}$ に収束する。

【0034】減衰係数 $\alpha$ の値が(数11)となる時

【0035】

【数11】

$$\alpha \geq 1$$

【0036】軸電圧 $V_{r,0}$ (S)は非振動となり直流成分 $V_{r,0}$ に収束する。

【0037】ここで、直流成分 $V_{r,0}$ は(数12)に示す式のことである。

【0038】

【数12】

$$V_{r,0} = \alpha E_d A / \omega \pi^2$$

【0039】ここで、(数12)に(数5)、(数6)、(数7)を代入すると(数13)となる。

【0040】

【数13】

$$V_{r,0} = E_d \frac{(C_{20} + C_{21})}{C_{20} + C_{21} + C_{22}}$$

【0041】図12は、従来のインバータ駆動された誘導機において、減衰係数 $\alpha$ の値の選び方によって変化する軸電圧の波形を説明した説明図である。

【0042】図12の(a)で示すような振幅 $E_d/3$ の階段状波形がコモンモード電圧 $e_c(t)$ として印加された場合、閉じた回路系126の応答電圧として発生する軸電圧 $V_{r,0}(t)$ は、2次遅れ要素のインデシャル応答としての挙動を示す。すなわち、減衰係数 $\alpha$ が(数11)で示す範囲内にある場合、2次遅れ要素は過制動または臨界制動となるから、図12の(b)で図示するように、軸電圧 $V_{r,0}(t)$ は非振動となり直流成分 $V_{r,0}$ に収束する。次に、減衰係数 $\alpha$ が(数10)で示す範囲内にある場合、2次遅れ要素は不足制動となるから、図12の(c)で図示するように、軸電圧 $V_{r,0}(t)$ は振動しつつ直流成分 $V_{r,0}$ に収束する。この場合、減衰係数 $\alpha$ が1と比較して小さくなればなるほど振動の程度も激しくなる。通常の誘導機では、減衰係数 $\alpha$ は(数10)の範囲内となり、軸電圧は振動しつつ直流成分 $V_{r,0}$ に収束する。

【0043】図13は、従来のインバータ駆動された誘導機について、最も大きなベアリング電流が発生する瞬間におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を説明した説明図である。

【0044】図13の(a)で示すような振幅 $E_d/3$ の階段状波形がコモンモード電圧 $e_c(t)$ として誘導機に印加された場合、図12の(c)で説明したのと同様に、軸電圧 $V_{r,0}(t)$ は図13の(b)で図示するように、大きく振動しつつ直流成分 $V_{r,0}$ (測定結果から $V_{r,0} = 5V$ )に収束する。軸電圧 $V_{r,0}(t)$ が最大ビ

ーク電圧 $V_{r,max}$ (測定結果から $V_{r,max} = 42V$ )となる付近で軸受装置125が導通すると、エアーギャップ容量124に充電された軸電圧は図10の軸受装置125の抵抗133、インダクタンス134、およびスイッチ135を経て放電する。このとき抵抗133、インダクタンス134およびエアーギャップ容量124より成る直列共振回路が構成され、エアーギャップ容量に充電された軸電圧がこの直列共振回路を経て放電するとき流れる電流がベアリング電流となる。ベアリング電流 $i_b(t)$ は、図13の(c)で図示したような減衰振動波となるが、ベアリング電流の最大ピーク電流 $i_{b,max}$ (測定結果から $i_{b,max} = 520mA$ )は放電直前のエアーギャップ容量124に充電された軸電圧に比例する。すなわち、放電直前にエアーギャップ容量124に充電される軸電圧が大きいほど大きなベアリング電流が得られる。ゆえに、軸電圧 $V_{r,0}(t)$ が最大ピーク電圧 $V_{r,max}$ となる付近で軸受装置125が導通すると、放電直前でエアーギャップ容量に蓄積される軸電圧も最大となるので、このとき最も大きなベアリング電流が発生する。

【0045】以上で述べたように、PWMインバータに駆動された通常の誘導機では、軸電圧が大きく振動し、軸電圧が最大ピーク電圧 $V_{r,max}$ となる付近で軸受装置が導通すると軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流は最も大きな振幅となり、軸受の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化を招き、場合によっては軸受を損傷または破壊することがある。従って、このような障害が発生しないように、回転機にベアリング電流低減装置が用いられている。通常、このベアリング電流低減装置としては、軸受部を絶縁する方法と回転軸を接地する方法があるが、軸受部を絶縁する方法は、構造が複雑になり、組み立て工程に細心の注意を要し、工数が多くかかり、かつ回転機によっては機械的構造上軸受部の絶縁ができないものもあるので、通常は軸受部を絶縁するよりは簡単で、実施し易い回転軸を接地する方法が用いられている。

【0046】従来、この種のベアリング電流低減装置は、特開昭58-78770号公報、特開昭54-8801号公報、実開昭63-124057号公報、および実開昭58-78769号公報に記載されたものが知られている。

【0047】以下、その従来のベアリング電流低減装置について図14を参照しながら説明する。図に示すように、従来の回転軸を接地する方式の軸電流低減装置136はアースブラシホルダ137、アースブラシホルダ支え138およびアースブラシ組立体139から構成されている。アースブラシホルダ支え138は、導電材料の板材を略し字状に曲げて作られ、その略し字状の垂直部の端部は、ベアリングブラケット140とベアリングブラケット140に接合されたシールド玉軸受141より

(18)

特開2000-270520

成る軸受装置125のベアリングブラケット140の部分にボルト142を介して取り付けられ、略L字状の水平面には後述するアースブラシホルダ137が取付けられている。ベアリングブラケット140は誘導機112の金属筐体143にボルト144を介して取付けられている。アースブラシホルダ137はホルダシャंक145およびキャップ146より成り、ホルダシャंक145はアースブラシホルダ支え138の水平面にねじまたは半田付け等で固定され、その内側には後述するアースブラシ組立体139の取付け穴147が設けられている。アースブラシ組立体139はアースブラシ148、ばね149、ピグテール150およびピグテール支え151より成っている。従って、アースブラシホルダ137のホルダシャंक145の取付け穴147にアースブラシ組立体139を挿入し、ホルダシャंक145にキャップ146を取付ければ、アースブラシ148は、ばね149を介して回転子軸152に押し付けられて接触し、回転子軸152は、常にアースブラシ148、ピグテール150、ピグテール支え151、キャップ146、ホルダシャंक145、アースブラシホルダ支え138、ベアリングブラケット140および金属筐体143を介して接地される。

【0048】

【発明が解決しようとする課題】以上で述べたように、従来のPWMインバータに駆動された誘導機では、インバータ101より誘導機112の巻き線113にR相、S相およびT相のPWMスイッチングパターン三相分を重ね合わせたコモンモード電圧が供給される。さらに、巻き線113と固定子120との間の結合容量121、巻き線113と回転子122との間の結合容量123、および、固定子120と回転子122との間のエアギャップ容量によって閉じた回路系126が構成され、閉じた回路系126の結合容量129に印加されるコモンモード電圧に対する応答電圧として、エアギャップ容量124の両端に軸電圧が発生する。一般的な誘導機では、閉じた回路系126のコモンモード電圧に対する軸電圧の応答を現す伝達関数 $G(s)$ は2次遅れ要素を含み、減衰係数が1に比較してかなり小さい値となるため、インバータ101から立ち上がりの急峻な階段状波形が印加されたとき、2次遅れ要素は不足制動となるため軸電圧は激しく振動し、軸電圧の最大ピーク電圧 $V_{max}$ が大きくなる。軸電圧が最大ピーク電圧 $V_{max}$ となる付近で軸受装置が導通すると、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流も大きくなり、軸受の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化を招き、場合によっては軸受装置を損傷または破壊するという問題があった。

【0049】また、このような問題を解決するための従来のベアリング電流低減装置では、アースブラシ148は、ばね149より回転子軸152に押し付けられているので、回転子軸152の表面を摩耗、損傷させないよ

うに、カーボンを主成分とした非常に軟質の導電材料で作られているため摩耗が早く、早いものは2～3箇月で、長くて6～7箇月でアースブラシを交換しなければならないという欠点があった。

【0050】以上述べたように、従来のPWMインバータにより駆動された誘導機では、軸電圧が激しく振動するので、軸電圧の放電電流として発生するベアリング電流も大きくなってしまいう課題があり、ベアリング電流を低減または消滅させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することが要求されている。

【0051】また、従来のベアリング電流低減装置では、ブラシの摩耗による保守を数箇月毎に行う必要があるという課題があり、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減できる低減方法が要求されている。

【0052】本発明は、このような従来の課題を解決するものであり、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、かつ、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置を提供することを目的としている。

【0053】

【課題を解決するための手段】本発明のベアリング電流低減装置は上記目的を達成するために、回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った1枚以上の回転円環と、内輪部を回転軸に取付けた1個以上の軸受装置と、回転軸に対して垂直方向に前記軸受装置の外輪部に取り付けられ前記軸受装置の外輪部と同じ大きさの円板部分を切り取った前記軸受と同数の固定円環とを備え、前記固定円環は隣接する固定円環間に導線を介して接続し、固定円環の1つは導線を介してフレームに固定し、前記回転円環と前記固定円環は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置としたものである。

【0054】本発明によれば、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、また、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置が得られる。

【0055】また他の手段は、回転機のベアリング電流を低減するものにおいて、回転機の金属筐体に導線を介して接続されるフレームと、回転機の回転子軸に連結され軸受装置を介してフレームに取り付けられる回転軸

(19)

特開2000-270520

と、回転軸に対して垂直方向に回転軸に取り付けられ回転軸断面と同じ大きさの円板部分を切り取った回転支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記回転支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の回転円筒と、回転軸に対して垂直方向にフレームに取り付けられ回転軸の半径よりも大きな半径を持つ円板部分を切り取った固定支持円環と、回転軸に対して同心円状に前記固定支持円環に取り付けた半径の異なる1個以上の固定円筒を備え、前記固定円筒と前記回転円筒間は、静電容量を生ずるように非接触となる位置に交互に配置したことを特徴とする回転機のベアリング電流低減装置としたものである。

【0056】本発明によれば、ベアリング電流を低減させて軸受部の摩耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができ、また、長時間使用しても保守する必要なくベアリング電流を低減することができるベアリング電流低減装置が得られる。

【0057】

【発明の実施の形態】本発明は、フレームを回転機の金属筐体と導線で接続した回転機の軸電流低減装置において、回転軸に取り付けた回転円環を軸受装置を介して回転子軸に取り付け導線を介してフレームに固定接続した固定円環と非接触で接近した位置に配置させることによって回転円環と固定円環との間で静電容量を形成させるか、または、回転軸に取り付けた回転円筒をフレームに取り付けた固定円筒と非接触で接近した位置に配置させることによって回転円筒と固定円筒との間で静電容量を形成させて回転機の固定子と回転子の間のエアギャップ容量を増強するようにしたものである。

【0058】回転機の巻き線と固定子との間の結合容量、巻き線と回転子との間の結合容量および固定子と回転子との間のエアギャップ容量によって構成される閉じた回路系のコモンモード電圧に対する軸電圧の応答は、2次遅れ要素を有する伝達関数として表現されるが、伝達関数の減衰係数を1と比較して十分大きな値となるように、固定子と回転子との間のエアギャップ容量を十分大きな値に設定すれば、閉じた回路系の伝達関数の2次遅れ要素を過制動で動作させることができ、軸電圧を振動させずに単調に増加させつつ直流成分に収束させることが可能となる。さらに、固定子と回転子との間のエアギャップ容量を十分大きな値とすることにより、軸電圧の収束値となる直流成分も減少するので、放電直前の軸電圧を小さく抑えることになり、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流を低減することができるという作用を有する。

【0059】また、回転円環と固定円環、または、回転円筒と固定円筒とを非接触で配置するようにしたものであり、従来のベアリング電流低減装置のように軟質の導電材料で作られたアースブラシが回転軸に押し付けられて摩耗するような個所がないため、長時間使用しても保守する必要がないという作用を有する。

【0060】

【実施例】軸電圧が非振動になる例を例1として以下説明する。

【0061】図1に示すように、フレーム1は誘導線112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導線112の回転子軸152に接続されている。半径 $r_1$ の回転軸の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径 $r_1$ の回転円環4(5)は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取り付けられている。回転軸3の半径 $r_1$ よりも大きな内周半径 $r_2$ の円板部分を切り取った外周半径 $r_1$ の固定円環6(7)は、回転軸3に対して垂直方向に回転円環4(5)から距離 $d$ の間隔を隔てて内周半径 $r_2$ のフレーム1の内壁に取り付けられている。回転円環4、5、固定円環6、7は、それぞれ、隣接する固定円環、回転円環との間で静電容量を形成するように非接触で間隔 $d$ を隔てて交互に配置されている。回転軸3に取り付けられた軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム1に取り付けられている。

【0062】回転円環4(5)と固定円環6(7)の重なり合う部分の面積 $S_1$  ( $m^2$ )は(数14)で示す面積となる。

【0063】

【数14】

$$S_1 = \pi (r_1^2 - r_2^2)$$

【0064】回転円環4と固定円環6との間の静電容量を $C_1$ とおくと、 $C_1$ は(数15)に示す値となる。

【0065】

【数15】

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S_1}{d}$$

【0066】ここで、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率である。

【0067】同様に、固定円環6と回転円環5との間の静電容量、および、回転円環5と固定円環7との間の静電容量は $C_1$ に等しくなり、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_s$ は(数16)で示す静電容量となる。

【0068】

【数16】

$$C_s = 3 C_1$$

【0069】以上の(数14)、(数15)、(数16)から全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_s$ は(数17)で示す静電容量となる。

【0070】

【数17】



(20)

特開2000-270520

$$C_2 = \frac{3\pi\epsilon_0(r_1^2 - r_2^2)}{d}$$

【0071】誘導機112の回転子と固定子間のエアギャップ容量 $C_2'$ は、全ての回転円環と固定円環間で形成される合成静電容量 $C_2$ と、誘導機112の固定子120と回転子122間のみで形成されるエアギャップ容量 $C_2'$ とを合成した静電容量となる。ゆえに、エアギャップ容量 $C_2'$ は(数18)で示す静電容量となる。

【0072】

【数18】

$$C_2' = C_2 + C_2$$

【0073】軸電圧が非振動となるための条件は、従来例で述べた(数4)の $C_2$ と $C_2'$ に置き換えて(数1)から(数19)となる。

【0074】

【数19】

$$\frac{R_1}{2} \sqrt{\frac{(C_2' + C_{20}) \cdot (C_{11} + C_{21}) + C_{11}C_{21}}{L_1(C_2' + C_{20} + C_{21})}} > 1$$

【0075】(数19)を $C_2'$ について解くと(数20)となる。

【0076】

【数20】

$$C_2' > = \frac{4L_1 - C_{20} - C_{11}C_{21}}{\frac{R_1^2}{1 - \frac{C_{11} + C_{12}}{4L_1}} - R_1^2(C_{11} + C_{21})}$$

【0077】回転円環の外周半径 $r_1$ 、固定円環の内周半径 $r_2$ 、回転円環と固定円環の間隔 $d$ 、または、回転円環と固定円環の段数を適当に選んで、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_2$ を十分な静電容量に設定して、エアギャップ容量 $C_2'$ が(数20)を満足できるようにすれば、減数係数は1以上となり、閉じた回路系126の伝達関数の2次遅れ要素は過制動となり、軸電圧は振動せずに単調に増加しつつ直流成分 $V_{dc}$ に収束する。

【0078】さらに、エアギャップ容量 $C_2'$ を十分な値に設定すると、(数13)で明らかなように、軸電圧の収束値である直流成分 $V_{dc}$ が小さく抑えられるので、放電直前の軸電圧は常に小さく抑えられ、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流も小さく抑えることができる。

【0079】図2はベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を図示したタイムチャートであ

る。図2では、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量を $C_2 = 480 \text{ pF}$ に設定した場合について説明している。

【0080】図2の(a)で示すような階段状波形がコモンモード電圧として誘導機に印加されると、軸電圧が非振動となる条件である(数20)を満足する十分なエアギャップ容量 $C_2'$ が設定されているので、軸電圧は、図2の(b)で示すような非振動で直流成分 $V_{dc}$ に収束するような波形が得られる。エアギャップ容量 $C_2'$ が十分大きいと、従来例で述べた(数13)で明らかなように、軸電圧の収束値である直流成分 $V_{dc}$ は小さく抑えられる。軸電圧が、このような低レベルの直流成分 $V_{dc}$ (測定結果から $V_{dc} = 5 \text{ V}$ )で落ち着いている時、軸受がたまたま導通すると、図2の(c)に示すようなベアリング電流が流れるが、放電直前の軸電圧が小さいので振幅の小さなベアリング電流(測定結果からベアリング電流の最大波高値は $I_{bmax} = 60 \text{ mA}$ )しか流れない。

【0081】図3は、ベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機における合成静電容量 $C_2$ とベアリング電流の最大波高値 $I_{bmax}$ との関係を図示したグラフである。図3のグラフは、ベアリング電流低減装置を備えた誘導機において、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量を適当な $C_2$ に設定したとき、軸受に流れるベアリング電流を観測し、ベアリング電流の最大波高値 $I_{bmax}$ を測定して、これらの関係を図示したものである。図3から明らかなように、ベアリング電流低減装置が無い場合、すなわち回転円環と固定円環の間で形成される静電容量 $C_2$ を零としたとき、最大波高値が520mA程度のベアリング電流が発生するが、回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量を $C_2 = 480 \text{ pF}$ に設定したベアリング電流低減装置を備えた誘導機において、ベアリング電流の最大波高値はその約十分の一程度に抑圧されており( $I_{bmax} = 60 \text{ mA}$ )効果的にベアリング電流が低減されていることがわかる。

【0082】次に軸電圧が非振動になる他例を例2として以下説明する。

【0083】図4に示すように、フレーム1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。半径 $r_2$ の回転軸の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径 $r_1$ の回転円環4(5)は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取付けられている。回転軸3の半径 $r_2$ よりも大きな内径 $r_1$ の内柱部分を取り去った外周半径 $r_1$ の固定中空円柱12(13)は、回転軸3に対して同心円状に回転円板4(5)から距離 $d$ の間隔を隔てて内周半径が $r_2$ のフレーム1の内壁に取付けられている。回転円環4、5、固定中空円柱12、13は、それぞれ、隣接する固定中空円柱、回転

(21)

特開2000-270520

円環との間で静電容量を生ずるように非接触となるように間隔 $d$ を隔てて交互に配置されている。回転軸3に取り付けられた軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム143に取り付けられている。

【0084】回転円環4(5)と固定中空円柱12(13)の重なり合う部分の面積 $S_1$ ( $m^2$ )は(数21)で示す面積となる。

【0085】

【数21】

$$S_1 = \pi (r_1^2 - r_2^2)$$

【0086】回転円環1と固定中空円柱5との間の静電容量を $C_1$ とおくと、 $C_1$ は(数22)に示す値となる。

【0087】

【数22】

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S_1}{d}$$

【0088】ここで、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率である。

【0089】同様に、固定中空円柱12と回転円環5との間の静電容量、回転円環5と固定中空円柱13との間の静電容量は $C_2$ に等しくなるので、全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量 $C_s$ は(数23)で示す静電容量となる。

【0090】

【数23】

$$C_s = 3 C_1$$

【0091】以上の(数21)、(数22)、(数23)から全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量 $C_s$ は(数24)で示す静電容量となる。

【0092】

【数24】

$$C_s = 3 \pi \epsilon_0 (r_1^2 - r_2^2) / d$$

【0093】例1と同様の理由により、回転円環の外周半径 $r_1$ 、固定中空円柱の内周半径 $r_2$ 、回転円環と固定中空円柱との間隔 $d$ 、または、回転円環と固定中空円柱の段数を適当に設定して、全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量 $C_s$ を十分大きな静電容量に設定して、固定子と回転子との間のエアギャップ容量 $C_g$ を(数20)を満足する範囲に設定すれば、ベアリング電流を低減することができる。以降、ベアリング電流を低減できる説明は例1と同様の説明となるので省略する。

【0094】(実施例1)図5に示すように、フレーム

1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。外周半径 $r_1$ の回転軸の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径 $r_1$ の回転円環4(5)は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取り付けられている。軸受装置14(15)の内輪部16(17)は、回転軸3に取り付けられ、軸受装置14(15)の外輪部18(19)の外周面に内接する半径 $r_2$ の円板部分を切り取った外周半径 $r_2$ の固定円環20(21)は、回転軸3に対して垂直方向に回転円環4(5)と距離 $d$ の間隔を隔てた位置に軸受装置14(15)の外周半径が $r_2$ の外輪部18(19)の外周面に取り付けられている。回転円環4、5、固定円環20、21は、それぞれ隣接する固定円環、回転円環との間で静電容量を生ずるように非接触となるよう間隔 $d$ を隔てて交互に配置されている。固定円環20と固定円環21は導線22を介して接続され、固定円環21は導線23を介してフレーム1の内壁に固定接続されている。

【0095】回転軸3に取り付けられた軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム1に取り付けられている。

【0096】回転円環4(5)と固定円環20(21)の重なり合う部分の面積 $S_1$ ( $m^2$ )は(数25)に示す面積となる。

【0097】

【数25】

$$S_1 = \pi (r_1^2 - r_2^2)$$

【0098】回転円環4と固定円環20との間の静電容量を $C_1$ とおくと、 $C_1$ は(数26)に示す値となる。

【0099】

【数26】

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S_1}{d}$$

【0100】ここで、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率である。

【0101】同様に、固定円環20と回転円環5との間の静電容量、回転円環5と固定円環21との間の静電容量は $C_2$ に等しくなるので、全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_s$ は(数27)で示す静電容量となる。

【0102】

【数27】

$$C_s = 3 C_1$$

【0103】以上の(数25)、(数26)、(数27)から全ての回転円環と固定円環との間で形成される合成静電容量 $C_s$ は(数28)で示す静電容量となる。

【0104】

(22)

特開2000-270520

【数28】

$$C_{21} = \frac{3\pi\epsilon_0(r_1^2 - r_2^2)}{d}$$

【0105】実施例1において、例1と同様の理由により、回転円環の外周半径 $r_1$ 、固定円環の内周半径 $r_2$ 、回転円環と固定円環との間隔 $d$ 、または、回転円環と固定中空円柱の段数を適当に設定して、全ての回転円環と固定中空円柱との間で形成される合成静電容量 $C_2$ を十分大きな静電容量に設定して、誘導機112の固定子と回転子との間のエアギャップ容量 $C_2'$ を(数20)を満足する範囲に設定すれば、ベアリング電流を低減することができる。以降、ベアリング電流を低減できる説明は例1と同様の説明となるので省略する。

【0106】(実施例2)図6に示すように、フレーム1は誘導機112の金属筐体143に導線2を介して接続されている。回転軸3は誘導機112の回転子軸152に連結されている。半径 $r_2$ の回転軸3の断面と同じ大きさの円板部分を切り取った外周半径 $r_3$ の回転支持円環24は、回転軸3に対して垂直方向に回転軸3に取付けられ、外周半径を $r_3$ 、内周半径を $r_4$ とする回転円筒25、および、外周半径を $r_3$ 、内周半径を $r_4$ とする回転円筒26は、回転軸3に対して同心円状に回転支持円環24に取付けられている。同様に、回転軸3の外周半径 $r_2$ よりも大きな半径 $r_{3e}$ の円板部分を切り取った外周半径 $r_3$ の固定支持円環27は、回転軸3に対して垂直方向に内周半径 $r_4$ のフレーム1の内壁に取付けられ、外周半径を $r_{11}$ 、内周半径を $r_{12}$ とする固定円筒28、および、外周半径を $r_{11}$ 、内周半径を $r_{12}$ とする回転円筒29は、回転軸3に対して円心円状に固定支持円環27に取付けられている。回転円筒25、26、固定円筒28、29は、それぞれ、隣接する固定円環、回転円筒との間で静電容量を形成するように非接触となる位置に交互に配置されている。回転軸3の軸受装置8は、ベアリングブラケット9とこれに接合されたシールド玉軸受10より成り、ベアリングブラケット9はボルト11を介してフレーム1に取り付けられている。 \*

$$C_2 = 2\pi\epsilon_0 L \left[ \frac{1}{\ln(r_7/r_{11})} + \frac{1}{\ln(r_{12}/r_8)} + \frac{1}{\ln(r_9/r_{13})} \right]$$

【0117】実施例2において、例1と同様の理由により、回転円筒と固定円筒の内周半径 $r_7$ 、 $r_8$ 、 $r_{11}$ 、外周半径 $r_9$ 、 $r_{11}$ 、 $r_{12}$ 、回転円筒25、26と固定円筒28、29の軸方向に重なり合う部分の長さ $l$ 、または、回転円筒と固定円筒の段数を適当に選んで、全ての回転円筒と固定円筒との間で形成される合成静電容量 $C_2$ を十分大きな静電容量に設定して、誘導機112の固定子と回転子との間のエアギャップ容量 $C_2'$ を(数20)を満足する範囲に設定すれば、ベアリング電流を低減することができる。以降、ベアリング電流を低減で

\*【0107】回転円筒25(26)と固定円筒28(29)の軸方向に重なり合う部分の長さ $l$ とすると、回転円筒25と固定円筒28との間で形成される静電容量 $C_{41}$ は(数29)となる。

【0108】

【数29】

$$C_{41} = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(r_7/r_{11})}$$

【0109】固定円筒28と回転円筒26との間で形成される静電容量 $C_{42}$ は(数30)となる。

【0110】

【数30】

$$C_{42} = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(r_{12}/r_8)}$$

【0111】回転円筒26と固定円筒29との間で形成される静電容量 $C_{43}$ は(数31)となる。

【0112】

【数31】

$$C_{43} = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(r_9/r_{13})}$$

【0113】全ての回転円筒と固定円筒との間で形成される合成静電容量 $C_2$ は(数32)で示す静電容量となる。

【0114】

【数32】

$$C_2 = C_{41} + C_{42} + C_{43}$$

【0115】全ての回転円筒と固定円筒との間で形成される合成静電容量 $C_2$ は(数29)、(数30)、(数31)、(数32)より(数33)で示す静電容量となる。

【0116】

【数33】

きる説明は、例1と同様の説明となるので省略する。

【0118】

【発明の効果】以上の実施例から明らかなように、本発明によれば、回転機の金属筐体とベアリング電流低減装置を導線で接続し、実施例1の回転軸に取り付けられた回転円環と軸受装置を介して回転軸に取付けられフレームに固定接続された固定円環、または、実施例2の回転軸に取り付けた回転円筒とフレームに取り付けた固定円筒を非接触で接近させて静電容量を形成し、回転機の固定子と回転子との間のエアギャップ容量を補強するこ



(23)

特開2000-270520

とによって、インバータより誘導機に印加される立ち上がりの急峻なコモンモード電圧の応答電圧として発生する軸電圧を非振動で動作させ、この時同時に、軸電圧の収束値となる直流成分も小さくなるので、放電直前の軸電圧を著しく小さく抑えることができ、軸電圧の放電現象として発生するベアリング電流を低減することができ、軸受部の磨耗、回転軸の損傷、潤滑油の風化、軸受装置の損傷または破壊を防止することができるという効果のあるベアリング電流低減装置を提供できる。

【0119】また、本発明によれば、実施例1の回転円環と固定円環、または、実施例2の回転円筒と固定円筒を非接触で接近させる事によってベアリング電流を低減しているので、従来のベアリング電流低減装置のように軟質の導電材料を回転軸に押し付けているため、数ヶ月でブラシ交換を必要とするような保守の必要なベアリング電流を低減することができるという効果のあるベアリング電流低減装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】軸電圧が非振動になる例1のベアリング電流低減装置の側面図

【図2】同ベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を図示したタイムチャート

【図3】同ベアリング電流低減装置を備えたインバータ駆動の誘導機における合成静電容量 $C_s$ とベアリング電流の最大波高値 $I_{max}$ との関係を図示したグラフ

【図4】軸電圧が非振動になる例2のベアリング電流低減装置の側面図

【図5】本発明の実施例1のベアリング電流低減装置の側面図

【図6】本発明の実施例2のベアリング電流低減装置の側面図

【図7】従来のPWMインバータに駆動された誘導機の原理的回路

【図8】従来のPWMインバータに駆動された誘導機の各部の波形を説明する説明図

【図9】従来のインバータ駆動された誘導機のコモンモード等価回路図

【図10】従来のインバータ駆動された誘導機の簡略化コモンモード等価回路図

\*

\*【図11】従来のインバータ駆動された誘導機において、コンピュータシミュレーションを使って計算させた軸電圧の波形と、実際に測定した軸電圧の波形を比較したタイムチャート

【図12】従来のインバータ駆動された誘導機において、減衰係数などの値の選び方によって変化する軸電圧の波形を説明した説明図

【図13】従来のインバータ駆動された誘導機について、最も大きなベアリング電流が発生する瞬間におけるコモンモード電圧、軸電圧およびベアリング電流を説明した説明図

【図14】従来のベアリング電流低減装置の側面図

【符号の説明】

- |    |        |
|----|--------|
| 1  | フレーム   |
| 2  | 導線     |
| 3  | 回転軸    |
| 4  | 回転円環   |
| 5  | 回転円環   |
| 6  | 固定円環   |
| 7  | 固定円環   |
| 8  | 軸受装置   |
| 12 | 固定中空円柱 |
| 13 | 固定中空円柱 |
| 14 | 軸受装置   |
| 15 | 軸受装置   |
| 16 | 内輪部    |
| 17 | 内輪部    |
| 18 | 外輪部    |
| 19 | 外輪部    |
| 20 | 固定円環   |
| 21 | 固定円環   |
| 22 | 導線     |
| 23 | 導線     |
| 24 | 回転支持円環 |
| 25 | 固定円筒   |
| 26 | 固定円筒   |
| 27 | 固定支持円環 |
| 28 | 回転円筒   |
| 29 | 回転円筒   |

フロントページの続き

(72)発明者 東城 正佳  
大阪府大阪市城東区今福西6丁目2番61号  
松下精工株式会社内

(72)発明者 朝井 貴裕  
大阪府大阪市城東区今福西6丁目2番61号  
松下精工株式会社内

(24)

特開2000-270520

F ターム(参考) 5H605 AA12 BB05 BB10 CC02 CC04  
EB10 EB30  
5H611 AA01 BB05 PP03 QQ05 QQ06  
UA05 UA08 UB01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**